




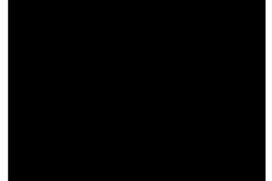
## DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 081.2	9K	3172	---	GC	RB	0005	00

Titel der Unterlage: Bericht "Geplantes Endlager Konrad" Berechnungen zum Beanspruchungszustand des Deckgebirges und gruben- naher Bereiche Archiv-Nr.: 99341	Seite:
	II.
	Stand:
	01.05.86

Ersteller:	Textnummer:
BGR	

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/2122414		zu Plan-Kapitel: 3.1.9.7	
		PL 08.12.86 	PL 08.12.86 
		Freigabe für Behörden	Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

# Revisionsblatt



	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	JA	Lit. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 081.2	9K	3172	---	GC	RB	0005	00

Titel der Unterlage: Bericht "Geplantes Endlager Konrad" Berechnungen zum Beanspruchungszustand des Deckgebirges und grubennaher Bereiche Archiv-Nr. 99341	Seite: II.
	Stand: 01.05.86

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Ref. B 2.11 / B. 2.14

Bericht

"Geplantes Endlager KONRAD"

Berechnungen zum Beanspruchungszustand des Deckgebirges  
und grubennaher Bereiche

Sachbearbeiter:



Datum: 01.05.1986

Archiv-Nr.: 99 341

Tagebuch-Nr.: 10830/86

## Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	Vorbemerkungen	1
1.1	Vorgang und Zielsetzung	1
2.	Erfassung stratigraphischer und petrographischer Einflüsse als Randbedingungen für die Berechnungsmodelle	1
2.1	Überblick über die stratigraphische Gliederung des Grubenstandortes KONRAD	1
2.2	Zusammenstellung der festigkeits- und verformungsbeschreibenden Parameter	3
2.3	Übertragung von Gesteinskennwerten als Gebirgskennwerte in die Berechnungsmodelle	6
3.	Modellbeschreibung	7
3.1	Verwendete Finite-Elemente-Modelle	7
3.2	Verwendetes Stoffgesetz	9
3.3	Verwendete Stoffparameter	11
4.	Ergebnisse der Berechnungen	13
4.1	Allgemeines zur Darstellung	13
4.2	Ergebnisse zum Schnitt a-a	14
4.3	Ergebnisse zum Schnitt b-b	16
4.4	Ergebnisse zum Schnitt c-c	18
5.	Zusammenfassende Ergebnisse und Bewertung	20
	Abbildungsverzeichnis	24
	Literaturverzeichnis	26

## Symbolübersicht

$\gamma$	spezifisches Gewicht
$E$	Elastizitätsmodul
$\nu$	Querkontraktionszahl
RVM	Restverformungsmodul
$\varphi$	Scherwinkel
$c$	Kohäsion
$D$	geschätzter mittlerer, ebener Durchbauungsgrad
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hauptspannungskomponenten
$\sigma_m$	mittlere Hauptspannung
$S_{ij}$	Komponenten des Spannungstensors
$I_2, \bar{\sigma}$	2. Invariante des Spannungsdeviators
$I_1$	1. Invariante des Spannungstensors

## 1. Vorbemerkungen

### 1.1 Vorgang und Zielsetzung

Durch das 1982 eingeleitete Planfeststellungsverfahren zur Errichtung des geplanten Endlagers KONRAD wurden in Abstimmung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt neben umfangreichen gebirgsmechanischen in-situ- und Laboruntersuchungen auch numerische Berechnungen seitens der BGR zum Nachweis der Gesamtstabilität des Grubengebäudes und des anstehenden Deckgebirges durchgeführt. Dabei standen die rechnerische Identifikation möglicher Bruchzonen (plastische Zonen) im Bereich der geologischen Barriere (Bereich der Unterkreideschichten), sowie die Angabe der Beanspruchungsverteilung im Nahbereich des Grubengebäudes (vgl. auch <1>) im Vordergrund. Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen werden in diesem Bericht dargestellt.

## 2. Erfassung stratigraphischer und petrographischer Einflüsse als Randbedingungen für die Berechnungsmodelle

### 2.1 Überblick über die stratigraphische Gliederung des Grubenstandortes KONRAD

Grundlage für die stratigraphische Gliederung waren neben den Schachtprofilen KONRAD 1 und 2 die Tiefbohrungen zur Erz- und Erdölexploration in der östlichen Randsenke des Salzstockzuges Broistedt, Vechelde, Rolfsbüttel-Wendeburg, sowie geologische Aufnahmen unter Tage während der Erzgewinnung. Die in den Abbildungen 2.1.1 bis 2.1.3 dargestellten geologischen Schnitte basieren auf obigen Erkenntnissen und wurden 1985 sowohl durch

reflexionsseismische Untersuchungen, als auch durch eine am Grubenstandort KONRAD direkt niedergebrachte Tiefbohrung (K 101) ergänzt und bestätigt. Die Genauigkeit der Schichtgrenzlagen, bzw. Schichtmächtigkeiten, liegt im 10'er-Meterbereich. Ost-West streichende tektonische Elemente, vorzugsweise der Bleckenstedter Sprung, Konrad-Sprung, bzw. die Randverwerfungen des Sauinger Grabens, finden sich in ihrer Lage durch Seismik und Grubenaufschlüsse bestätigt. Dargestellte Nord-Süd streichende tektonische Elemente resultieren vorwiegend aus untertägigen Aufschlüssen und sind hinsichtlich ihres dargestellten Verlaufs im Hangenden und Liegenden des Erzlagens als Interpretation anzusehen. Durch die Abbildungen 2.1.1 bis 2.1.3 ist der Grubennahbereich, sowie das Deckgebirge bis hin zur Geländeoberfläche in relevanten Schnitten geologisch dargestellt. Diese bilden somit die Grundlage für die weitere Modellabbildung (Lage der Schnitte siehe Abb. 2.1.4).

Die berechneten Modelle umfassen die Schichten des Dogger im Tiefsten bis zum Turon der Oberkreide, bzw. dem Quartär an der Geländeoberfläche. Vom Liegenden zum Hangenden wurden folgende petrographische/stratigraphische Einheiten für die geomechanischen Berechnungen zusammengefaßt, die auf dem Kenntnisstand vom Frühjahr 1985 basieren:

- **Dogger, Bajocium - Bathonium - Callovium:**

Ton-, Tonmergelstein, häufig schluffig bis feinsandig; untergeordnet Kalksandstein (Unterbathonium).

- **Malm, Oxfordium:**

Wechsellagerung von Ton-, Tonmergel- und Kalkstein; die Kalksteine häufig in oolithischer, z. T. auch verkieselter Ausbildung. Das Oxford enthält innerhalb des Korallenooliths die Brauneisenerze des unteren und oberen Lagers.

- **Malm, Kimmeridgium:**

Wechsellagerung von Tonmergel- bis Kalksteinen unterschiedlicher Ausbildung; untergeordnet Anhydrit.

- Malm, Obermalm 1 - 4:

I. w. Kalk bis Kalkmergelsteine, teilweise auch Tonmergelsteine.

- Unterkreide, Hauterivium:

Ton- bis Tonmergelsteine, z. T. schluffig, untergeordnet Kalkstein- und Sandsteinbänke.

- Unterkreide, Barremium - Aptium - Unteralbium:

Ton- bis Tonmergelsteine, z. T. schluffig bis sandig; im Unteralbium eine geringmächtige Sandsteinschicht (Hilssandstein).

- Unter-/Oberkreide, Mittel- - Oberalbium - Untercenomanium:

Schluffige bis feinsandige, z. T. verkieselte Tonmergel- bis Mergelsteine, Tonsteine, geringmächtiger Feinsandstein (Mittelalbium).

- Oberkreide/Quartär, Mittel- - Obercenomanium - Unter- - Mittel- - Oberturonium - Quartär:

Mergel-, Kalkmergel- und Kalksteine, häufig bankig ausgebildet; das Quartär besteht aus in der Mächtigkeit stark schwankenden Lockersedimenten, die im Schnitt einige 10 Meter mächtig sind.

## 2.2 Zusammenstellung der festigkeitsbeschreibenden Parameter

Zur Bestimmung von festigkeits- und verformungsbeschreibenden Gesteinsparametern standen Proben aus unterschiedlichen Bohrungen zur Verfügung. Das Deckgebirge (Hauterive bis Turon), sowie die liegenden Doggerschichten, konnten durch die Tiefbohrung K 101 und die im Rahmen eines WBK-Gutachtens <2> erstellten Schachtwandbohrungen untersucht werden. Die in der Umgebung der eigentlichen Grubenbaue anstehenden Gesteine konnten



durch die felsmechanischen Untersuchungsbohrungen, sowie weiterer, im Grubengebäude durchgeführter Bohrungen, beprobt werden (vgl. Abb. 2.1.4). Die Ergebnisse der Laborversuche sind in entsprechenden Berichten der GSF <3> und der BGR <4> dargestellt worden.

Die Parameter der Nachbruchbereiche sind mit ihren Streubereichen in Tab. 1 zusammengestellt. Dabei wurden die Gesteine entsprechend den Modellschichten bereits zusammengefaßt. Aufgrund der homogeneren Gesteinsausbildung der Liegend- und Hangend-schichten des Oxford, sowie der primär eingeschränkten Möglichkeit zur wirtschaftlichen Beschaffung von Probenmaterial, sind Streubreiten in den Gesteinen des Oxford geringer. Allgemein wird aber durch die Betrachtung der Nachbruchparameter der Schwankungsbereich gegenüber dem der Bruchparameter eingeengt. Im einzelnen wurden die Parameter  $\varphi$  (innerer Reibungswinkel),  $c$  (Kohäsion) und RVM (Restverformungsmodul) ermittelt. Der Reibungswinkel und die Kohäsion ergeben sich aus der linearen Regression der Nachbruchfestigkeiten, wobei  $c$  den Ordinatenabschnitt und  $\varphi$  die Steigung der Regressionsgeraden darstellen <4>. Der Restverformungsmodul wurde durch die Steigung der Geraden durch den Wende-, bzw. Schnittpunkt eines Entlastungs- und Wiederbelastungszyklus im Nachbruchbereich im  $\sigma/\epsilon$ -Diagramm berechnet <4>. Gegenüber dem eigentlichen Elastizitätsmodul ist er stets deutlich abgemindert.

In Tab. 2 sind die ermittelten Laborergebnisse den in den Berechnungen zur Anwendung gekommenen Parametern gegenübergestellt worden (s. Kap. 3.3). Kleinere Diskrepanzen zwischen Laborergebnis und Rechenparameter sind in der z. T. parallelen Bearbeitung der Rechnungen und der Gesteinsuntersuchungen begründet, so daß einige Parameter auf der Grundlage einer geringeren Anzahl von Versuchen abgeschätzt werden mußten. Es muß deshalb darauf hingewiesen werden, daß die Konservativität der Berechnungen nicht in dem Einzelparameter zu suchen ist, sondern durch die Benutzung der Nachbruchparameter gewahrt wird (s. Kap. 2.3).

Stratigraphie	Petrographie	Nachbruchfestigkeiten								
		$\varphi$   °			c   MPa			RVM   MPa		
		min	max	Mittel	min	max	Mittel	min	max	Mittel
Quartär	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cenoman	Kalk-, Kalkmergelstein	-	-	30,7	-	-	5,3	6 180	7 140	6 570
Oberalb	Tonmergel-, Mergelstein	-	-	16,3	-	-	3,7	760	5 310	3 180
Mittel-, Unteralb, Apt	Tonmergel-, Mergelstein	-	-	22,2	-	-	1,0	1 190	3 920	2 350
Barrême	Ton-, Tonmergel-, Mergelstein	-	-	25,4	-	-	0,9	1 470	3 770	2 530
Hauterive	Ton-, Tonmergelstein	-	-	25,8	-	-	1,4	3 010	6 800	4 780
Obermalm 1 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kimmeridge	-	-	-	33,2	-	-	4,4	11 620	12 620	12 120
Oxford	Ton-, Mergelstein	30,0	36,8	34,4	1,0	2,0	1,5	3 940	18 780	9 070
	Kalkmergel, Kalkstein	36,2	43,3	39,8	1,0	5,0	3,0	4 810	26 300	13 740
	Eisenerz	-	-	35,2	-	-	2,9	3 260	10 190	7 670
Dogger	-	25,7	33,6	29,6	1,7	2,8	2,2	5 240	10 020	8 060

Tab. 1: Zusammenstellung der zusammengefaßten Nachbruchparameter von Gesteinsproben der Grube Konrad

Stratigraphie	Laborergebnisse			Nord-Süd-Schnitt (a-a)			Ost-West-Schnitte (b-b, c-c)		
	$\varphi$   °	c   MPa	RVM   MPa	$\varphi$   °	c   MPa	RVM   MPa	$\varphi$   °	c   MPa	RVM   MPa
Quartär - Turon - Cenoman	30,7	5,30	6 570	23	3,5	3 000	23	3,5	3 000
Alb - - - - - Apt - Barrême	16,3	3,70	3 180	15	2,5	3 000	20	2,0	2 500
Hauterive	23,8	0,95	2 440	25	1,5	2 000	25	1,5	2 000
Obermalm 1 - 4	25,8	1,40	4 780	25	1,5	2 000	25	1,5	2 000
Kimmeridge	-	-	-	-	-	-	27	2,4	2 500
Oxford	33,2	4,40	12 110	33	3,8	3 000	33	3,8	3 000
Dogger	36,5	2,50	10 160	35	3,0	3 000	35	3,0	3 000
	29,6	2,20	8 060	33	1,0	3 000	30	1,1	3 000

Tab. 2: Gegenüberstellung der Laborergebnisse mit davon abgeleiteten Rechenparametern in den berechneten Schnitten

### 2.3 Übertragung von Gesteinskennwerten als Gebirgskennwerte in die Berechnungsmodelle

Das anstehende Gebirge ist als trennflächenbehaftetes Diskontinuum anzusehen, dessen komplexes bruchmechanisches Verhalten im Modell idealisiert werden muß.

Grundlegender Gedanke bei der festigkeitsmechanischen Beschreibung des geklüfteten Gebirgsverbandes ist die Vorstellung, daß die Gesamtfestigkeit eines betrachteten Gebirgsausschnittes durch den Scherwiderstand auf vorhandenen Kluftflächen bestimmt ist. Somit ist die Bruchfestigkeit des intakten Kluftkörpers von untergeordneter Bedeutung.

Einaxiale und triaxiale Festigkeitsuntersuchungen im Labor beschreiben jedoch gerade das mechanische Verhalten des Gesteins in Form der elastischen Materialkonstanten  $E$  und  $\nu$ , sowie der Scherparameter  $\varphi$  und  $c$ , bezogen auf einen intakten Kluftkörper. Erst durch die gezielte Betrachtung des Nachbruchverhaltens des Materials kann der mit einer künstlich erzeugten Bruchfläche behaftete Probenkörper hinsichtlich seiner verbleibenden Restscherfestigkeit zur Beschreibung des Gebirgsverbandes herangezogen werden.

Da Angaben zum Durchtrennungsgrad des Deckgebirges, basierend auf entsprechender Kluftstatistik, sowie Angaben über die Anzahl und räumliche Lage von Kluftscharen, für einen Gebirgsausschnitt, wie er hier betrachtet wird, nicht ermittelt werden können, muß aufgrund einer anzustrebenden konservativen Betrachtungsweise die Scherfestigkeit des in-situ anstehenden Gebirges im Modell an jeder Stelle und in jeder Richtung auf die Restscherfestigkeit reduziert werden. Eine solche Vorgehensweise unterstellt dem Modellgebirge einen Durchtrennungsgrad nahe 100 %. Bereits die Überschreitung der Restscherfestigkeit führt demnach lokal zu irreversiblen Verformungen und Spannungsumlagerungen im Modell, die angenähert durch ein linear elastisch-ideal plastisches Stoffgesetz beschrieben werden können. Die wirkliche Tragfähigkeit des Gebirges wird im Modell stark unterbewertet.

Die geringe Information hinsichtlich gebirgsmechanischer Eigenschaften des Deckgebirges KONRAD, insbesondere die Unsicherheiten bezüglich des herrschenden großräumigen Gebirgsspannungszustandes, lassen o. g. Vorgehensweise für eine konservative Aussage zum Beanspruchungszustand des Deckgebirges als notwendig erscheinen.

### 3. Modellbeschreibung

#### 3.1 Verwendete Finite-Elemente-Modelle

In Übereinstimmung mit den in Abbildung 2.1.1 bis 2.1.3 dargestellten geologischen Schnitten, sowie der Abbildung 2.1.4, wurden drei Finite-Elemente-Modelle erstellt, die als Scheibenmodelle einen Gebirgskörper von rd. 30 km<sup>2</sup> aufschließen.

##### a) Modell a-a, Nord-Süd-Schnitt (R 96 000)

Die Modellstruktur beschreibt einen Gebirgsausschnitt von 1 300 Metern Mächtigkeit und einer Längsausdehnung von 4 035 Metern (Abb. 3.1.1). Hinsichtlich der gewählten Modellabbildung wurden stratigraphische Horizonte zu Modellschichten zusammengefaßt. Signifikante Störungszonen, wie Bleckenstedter- und Konrad-Sprung, sowie die südliche Randverwerfung des "Sauinger Grabens" wurden im Modell ebenso berücksichtigt, wie die durch die Art der Erzgewinnung zu unterscheidenden Grubenbereiche des Spülversatzfeldes und LHD-Feldes. Die als Störungszonen aufgefaßten Sprünge haben im Modell eine Breite von rd. 50 Metern und reichen bis zur Unteralbtransgression.

Da das eigentliche Grubengebäude mit seiner komplizierten Abbaukammer- und Streckengeometrie nicht diskret in die Modellstruktur eingearbeitet wurde, muß die flächenhafte un-

tertägige Abbaugeometrie über Modellelemente von ca. 20 Metern Höhe und rd. 100 Metern Länge erfaßt werden. Das mechanische Tragverhalten eines räumlichen Systems, bestehend aus Kammern, Strecken und Pfeilern, wird über die mechanischen Eigenschaften entsprechender Elemente eingearbeitet (siehe 3.3).

b) Modell b-b, Ost-West-Schnitt (H 83 250)

Die entsprechende Modellscheibe zum Ost-West-Schnitt bildet einen Gebirgsausschnitt von 1 500 Metern Mächtigkeit und 5 300 Metern Längsausdehnung ab (Abb. 3.1.2). Sie schneidet den Bereich des alten Spülversatzfeldes und das Parallelstreckenfeld (Feld 1), sowie die geplanten Einlagerungsfelder 4 und 5 a südlich des Bleckenstedter Sprunges. Hinsichtlich der stratigraphischen Gliederung und der modellhaften Beschreibung des alten und neuen (geplanten) Grubengebäudes gelten die Ausführungen zum Schnitt a-a. Untertage aufgeschlossene Bereiche erhöhter Tektonik (Bereiche b, c), sowie eine Nord-Süd streichende Störung (a) mit einem Versatzbetrag von rd. 20 Metern, liefern die tektonischen Randbedingungen für die Modellabbildung im Grubennahbereich.

c) Modell c-c, Ost-West-Schnitt (H 82 350)

Die in Abbildung 3.1.3 dargestellte Modellscheibe zeigt bezüglich des Schnittes b-b nur geringe Unterschiede in der Lage und Mächtigkeit abgebildeter stratigraphischer Horizonte. Das Modell (1 500 Meter Mächtigkeit, 5 300 Meter Längsausdehnung) schneidet den Bereich des LHD-Feldes, das als Bruchbaufeld 1975 aus wirtschaftlichen Gründen abgeworfen wurde. Seinerzeit angetroffene schwierige tektonische Verhältnisse in einigen Bereichen des LHD-Feldes finden in der Modellabbildung in Form von "Schwächezonen" a und b ihre Berücksichtigung.

Die den Schnitten zugehörigen Finite-Elemente-Netze, sowie deren Lagerung an den Rändern, zeigen die Abbildungen 3.1.4 bis 3.1.6. Zur Vermeidung von Randeffekten aus der horizontalen Unverschieblichkeit der Modellränder, wurden die Netzstrukturen um rd. 1 500 Meter über die vorliegenden geologischen Schnitte hinaus beidseitig ergänzt.

### 3.2 Verwendetes Stoffgesetz

Wie in Abschnitt 2.2 ausführlich dargestellt, zeigen die Festigkeitsuntersuchungen an Kernen aus dem Grubennahbereich, als auch aus den Deckgebirgspartien im Bereich der Barriere ein deutlich elastisch-pseudoplastisches Materialverhalten. Eine Betrachtung des Post-failure-Verhaltens macht deutlich, daß das Nachbruchverhalten der untersuchten Gesteine in guter Näherung durch ein linear elastisch-ideal plastisches Stoffgesetz approximiert werden kann (Abb. 3.2.1). In Verbindung mit dem Bruchkriterium (Fließbedingung) nach Drucker/Prager wird, basierend auf dem Restverformungsmodul (RVM), für den elastischen Anteil der Deformation ein ideales Plastifizieren des Materials nach Erreichen der Restscherfestigkeit ohne "Wiederfestigung" in Form eines anwachsenden Scherwiderstandes in der Bruchfläche unterstellt.

Die Fließbedingung nach Drucker/Prager <5> ist definiert als:

$$F = 3 \alpha \cdot \sigma_m + \bar{\sigma} - k$$

$$\text{mit: } \bar{\sigma}^2 = \frac{1}{2} s_{ij} s_{ij}$$

$$\sigma_m = \sigma_{ii} / 3$$

Die materialabhängigen Parameter  $\alpha$  und  $k$  lassen sich im Vergleich mit der Bruchbedingung nach Mohr-Coulomb aus Versuchen ermitteln und zwar

für den Kompressionsversuch:

$$\text{a) } \alpha = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3} (3 - \sin \varphi)} \qquad k = \frac{6 \cdot c \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} (3 - \sin \varphi)}$$

für den Extensionsversuch:

$$\text{b) } \alpha = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{3} (3 + \sin \varphi)} \qquad k = \frac{6 \cdot c \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} (3 + \sin \varphi)}$$

für den ebenen Verzerrungszustand:

$$\text{c) } \alpha = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3} (3 + \sin^2 \varphi)} \qquad k = \frac{3 \cdot c \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} (3 + \sin^2 \varphi)}$$

Für den hier zugrundegelegten Fall ideal-plastischen Materialverhaltens sind die Parameter  $c$  und  $\varphi$  konstant. Weiterführende Angaben bezüglich plastizitätstheoretischer Grundlagen für das verwendete Stoffgesetz und die programmtechnische Einarbeitung in das Rechenprogramm sind <5> und <6> zu entnehmen.

### 3.3 Verwendete Stoffparameter

Einer konservativen Erfassung der mechanischen Parameter der Gesteine, in Bezug auf den zu beschreibenden Gebirgsverband im Modell, wird wie folgt Rechnung getragen:

- Festigkeitsbestimmende Parameter des Gesteins ergeben sich aus triaxialen Druckuntersuchungen im Nachbruchbereich. Damit wird die Scherfestigkeit des Modellgebirges an jeder Stelle auf den Scherwiderstand, der in einer Trennfläche herrscht, reduziert (Durchtrennungsgrad nahe 100 %).
- Der Elastizitätsmodul des Gesteins geht als Restverformungsmodul (RVM) in die Berechnung ein. Der im Post-failure-Bereich der Spannungs-Dehnungskurve ermittelte Restverformungsmodul stellt im Vergleich zum eigentlichen Elastizitätsmodul (bestimmt am Entlastungsast des Pre-failure-Bereichs) einen Minimalwert dar.
- Das Nachbruchverhalten des Modellmaterials wird ideal-plastisch ohne Einfluß von Wiederverfestigung beschrieben.
- Der Restverformungsmodul und die Restscherparameter  $\varphi$  und  $c$  werden nach petrographischen und stratigraphischen Gesichtspunkten den einzelnen Modellschichten zugeordnet. Einen Überblick über die in den jeweiligen Schnitten zur Anwendung gekommenen Stoffparameter gibt Tabelle 2 wieder (s. Kap. 2.2).

Als entscheidende Einflußgröße für die Erfassung der Abtragungswirkung der räumlichen Struktur der Grube und zukünftiger Einlagerungsfelder in die zweidimensionale Modellscheibenebene wird der mittlere ebene Durchbauungsgrad  $D$  angesetzt. Er kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Grad der Hohlraumöffnungen wie folgt angegeben werden:



- Bereich des Spülversatzfeldes: D = 66 %  
(Ohne Berücksichtigung des  
eingebrauchten Versatzes)
- Bereich des LHD-Feldes: D = 30 %
- Bereich von Einlagerungsfeldern: D = 20 %  
(Bei einem Kammer-Festen-  
Verhältnis 1 : 4, Quer-  
schnittsfläche rd. 40 m<sup>2</sup>,  
ohne Gebinde und Versatz)

Die Steifigkeitsminderung der das Grubengebäude abbildenden Elemente erfolgt in Abhängigkeit von D nach der Beziehung:

$$E_{\text{Modell}} = \text{RVM} \cdot \left( 1 - \frac{D [\%]}{100} \right)$$

Im Bereich der Grubenbaue wird sich der primäre Gebirgsspannungszustand (mit  $\nu = 0,4$ , bzw.  $0,37$  im Modell unterstellt) durch das großflächige Auflegen der Hangendpartien auf Festen, bzw. Pfeilerbereiche infolge Abbau in Richtung einaxialem, bzw. biaxialem Sekundärspannungszustand verschieben ( $\nu = 0,2$ ), wobei der eingebrachte Versatz im Spülversatzfeld mit der Zeit zum "tragenden Versatz" wird, und somit angenähert wieder "primäre" Spannungsverhältnisse erzeugt ( $\nu = 0,3$ ).

Die so gewonnenen Modellannahmen entsprechen gebirgsmechanischen Vorstellungen und Einschätzungen bezüglich des Gesamtverhaltens der Struktur im Bereich des Grubengebäudes. Nur einige wenige in-situ-Bestimmungen des Gebirgsspannungszustandes <7> liegen zur Zeit vor, deren Gesamtzahl in keinem Fall

ausreicht, um verlässliche, das Gesamtmodell abdeckende Angaben zu machen. Die Realitätsnähe der Modelle, bzw. der in Ansatz gebrachten Parameter, muß daher an dem Grad der Übereinstimmung zwischen den Berechnungsergebnissen und den bergmännischen Erfahrungen untertage, bezüglich gebirgsmechanischer Phänomene, gemessen werden.

Darüber hinaus kann der übertägige Senkungstrog als meßtechnisch überwachter großräumiger Indikator bergmännischer Aktivität herangezogen werden, um die Modelle zu verifizieren und zu validieren. Das "Einhängen" der Berechnungsergebnisse in übertägige quantitativ erfaßte Bewegungsvorgänge (Senkungstrog) <8> und untertägige, meist qualitativ eingeschätzte, Reaktionen des anstehenden Gebirges (erhöhter Streckenverbruch, Zonen druckhafteren Gebirges, Bereiche erhöhter tektonischer Gebirgsbeanspruchung usw.) ist Grundvoraussetzung, Aussagen über die Beanspruchung der Barrierebereiche im Deckgebirge durch das derzeitige, sowie geplante Grubengebäude zu machen.

#### 4. Ergebnisse der Berechnungen

##### 4.1 Allgemeines zum verwendeten Finite-Elemente-Programm und zur Darstellung der Ergebnisse

Die Berechnungen wurden mit dem Finite-Elemente-Programm ADINA <9> in der Version vom September 1981 durchgeführt, wie es auf dem Regionalen Rechenzentrum Niedersachsen implementiert ist. Es wurden isoparametrische 4-Knoten-Elemente verwendet. Dem Modellmaterialverhalten entsprechend, fand das Materialgesetz 7 Anwendung (Elastic-plastic, Drucker-Prager yield condition, Einzelheiten können dem Benutzerhandbuch entnommen werden).

Zur Kennzeichnung eines sich im Modell einstellenden Beanspruchungszustandes wurde der Wert  $\eta$  definiert, der die maximal zulässige Scherbeanspruchung zur vorhandenen berechneten deviatorischen Beanspruchung an jedem Integrationspunkt des Modells ins Verhältnis setzt. Dabei errechnete sich die zulässige Scherbeanspruchung aus der Fließbedingung nach Drucker/Prager (s. 3.2) in Abhängigkeit vom vorherrschenden Spannungszustand und den Restscherparametern  $\varphi$  und  $c$ . Im Falle des Erreichens der Fließgrenze nimmt  $\eta$  den Wert 1 an (Plastifizierung des Modells). Für "hydrostatische" Spannungsverhältnisse wird  $\eta = \infty$ . Durch Wahl einer geeigneten Rasterung werden  $\eta$ -Werte zu verschiedenen Intervallen zusammengefaßt, wobei hinsichtlich der Zustände nahe Bruch eine feinere Unterteilung vorgenommen wurde.

#### 4.2 Ergebnisse zum Schnitt a-a (Nord-Süd-Schnitt)

Es werden drei Zustände untersucht:

1. Primärer Beanspruchungszustand des Gebirges, unter Berücksichtigung tektonischer Elemente, vor Auffahren des Grubengebäudes.
2. Beanspruchungszustand des Gebirges nach Errichtung des Grubengebäudes (Stand 1975 - Ende des Erzabbaus).
3. Beanspruchungszustand des Gebirges nach zusätzlicher Auffahrung geplanter Einlagerungsfelder.

Die Abbildung 4.2.1 weist die Störungszonen a), b) und c) im Sinne des verwendeten Stoffgesetzes als gebrochen (plastisch) aus. Da sich diese Bereiche einer weiteren Lastaufnahme entziehen, erfolgt der Lastabtrag des Eigengewichtes ( $\gamma_{\text{Geb}} = 2,4 \text{ g/cm}^3$ ) um die Störungszonen herum. Durch die räumliche Lage der Störungszonen (nach Norden einfallend) kommt es im südlichen Nahbereich des Bleckenstedter Sprunges zu einer Spannungsreduzie-

rung, infolge des sich ausbildenden "Druckschattens". Diese Abschirmwirkung drückt sich durch einen geringeren Beanspruchungszustand des Gebirges im Bereich des (in der Berechnung) zukünftigen südlichen Spülversatzfeldes aus, eine Erfahrung, die seitens des Grubenbetriebes für die ersten, südlich des Bleckenstedter Sprunges aufgefahrenen Spülfelder bestätigt wird.

Der Einfluß stärkerer Tektonik in den Bereichen d) und e) (Bereich des späteren LHD-Feldes) führt zu einer Erhöhung der Scherbeanspruchung betroffener Modellbereiche, jedoch zu keiner Materialüberbeanspruchung.

Die im Modell simulierte Errichtung des Grubengebäudes (Abb. 4.2.2) bewirkt großräumige Spannungsumlagerungen, die zu druckentspannten Bereichen über den Abbauen führen. Daraus resultiert eine Erniedrigung der vorherrschenden deviatorischen Beanspruchung in den Modellschichten der Barriere über der Grube und eine Erhöhung nördlich des Bleckenstedter Sprunges. Das Auffahren der Spülversatzfelder mit ihrem hohen Durchbaugrad erhöht die Materialbeanspruchung lediglich im betrachteten AbbauhORIZONT, ohne daß es hierbei zu Brüchen kommt. Die Modellschicht des Kimmeridge über der Grube liegt bereits außerhalb des Einwirkungsbereiches der Spülversatzfelder.

Bergmännische Erfahrungen mit dem LHD-Feld haben gezeigt, daß lokal erhöhte Tektonik zu zum Teil erheblichen Verbrüchen innerhalb des Feldes geführt hat, die Gesamtstabilität des Feldes jedoch zu keinem Zeitpunkt gefährdet war. Die direkte Auswirkung eines im Modell vollständig plastifizierten LHD-Feldes, in Form erhöhter Scherbeanspruchung, bleibt auf die Modellschicht des Kimmeridge beschränkt. Eine Materialüberbeanspruchung ( $\eta = 1$ ) tritt nur in unmittelbarer Nähe über dem LHD-Feld auf (Einwirkungsbereich ~ 50 Meter über LHD-Feld). Im Zu-

stand 3 (Auffahrung des Einlagerungsfeldes 6a) bleibt die damit verbundene Erhöhung des deviatorischen Beanspruchungszustandes auf den Einlagerungshorizont beschränkt (Abb. 4.2.3). Plastifizierung des Materials tritt hierbei nicht auf. Als Folge der Druckumlagerung stellt sich im Bereich des Kimmeridge eine Reduzierung der Scherbeanspruchung aufgrund von Entlastung ein. Signifikante Wechselwirkungen auf andere Modellbereiche, vorzugsweise auf das alte Grubengebäude, können nicht nachgewiesen werden.

Abbildung 4.2.4 zeigt exemplarisch für den Schnitt a-a die Entwicklung des Senkungstrogens in der Modellscheibenebene vom Grubengebäude bis zur Geländeoberfläche. Das Maximum an Vertikalverschiebung an der Geländeoberfläche stellt sich mit rd. 280 mm über dem Spülversatzfeld als sogenanntem Abbauschwerpunkt ein. Form und Maximalwert des berechneten Senkungstrogens stimmen mit dem Übertagenivellement (Stand Mai 1985) gut überein. Das Auffahren des Einlagerungsfeldes 6a bewirkt im nördlichsten Teil des Senkungstrogens eine Zunahme von rd. 20 mm an der Tagesoberfläche. Einen direkten Vergleich zwischen berechnetem und gemessenem Senkungstrog liefert Abb. 4.2.5.

#### 4.3 Ergebnisse zum Schnitt b-b (Ost-West-Schnitt)

Ab 1965 wurde auf der Grube Konrad der Erzhorizont im Kammerpfeiler-Verfahren abgebaut. Dabei entstanden Hohlräume mit bis zu 5 000 m<sup>3</sup>, in denen teilweise Nachbrüche aus der Firste auftraten. Nach der Auserzung wurden die Kammern i. d. R. mit einem Kies-Sand-Gemisch im Spülversatzverfahren verfüllt. Besonders im östlichen Spülversatzfeld blieben allerdings mehrere Kammern unversetzt. Sowohl die bisherige geologische Aufnahme als auch neuere Erfahrungen bei der Auffahrung der im schwierigen Gebirge stehenden Rampe Ost, bestätigen die Abschwächung der Parameter E und  $\nu$  in den Bereichen b und c. Das Parallelstreckenfeld 1 wurde in den Jahren 1977 bis 1985 errichtet. Es steht im Erzhorizont und war problemlos aufzufahren.

In Abb. 4.3.1 ist die Gebirgsbeanspruchung im Primärzustand dargestellt. Unterhalb der jurassischen Transgressionslinie zeichnen die  $\eta$ -Bereiche das Einfallen der Schichten, sowie die Zunahme des Teufendruckes nach. Im oberen Bereich der Störung (s. Abb. 3.1.2) wird das Gebirge lokal überbeansprucht ( $\eta = 1$ ). Das relativ kleine Maximum unterhalb des Feldes 5a beruht auf der Abschwächung in diesem Feld. Der großräumigen Auswirkung der Störungsbereiche im unteren Modellteil mit niedrigen  $\eta$ -Werten entspricht eine Erhöhung der Werte in den darüberliegenden Schichten des Kimmeridge und der Unterkreide.

Durch den Ausbruch der Spülversatzfelder und des Feldes 1 (Abb. 4.3.2) bleiben die großräumigen Beanspruchungszustände des Primärzustandes weitgehend erhalten. Das östliche Spülversatzfeld ist weitgehend als gebrochen ausgewiesen; die seitlichen Zonen werden höher beansprucht, während sich ober- und unterhalb des plastifizierten Feldes eine geringer beanspruchte Zone mit höheren  $\eta$ -Werten ausbildet, die weit bis in die Unterkreideschichten reicht.

Die Auffahrung der Einlagerungsfelder 4 und 5a (Abb. 4.3.3) bewirkt nur unwesentliche Änderungen des Gesamtbeanspruchungszustandes des Gebirges. Die Barrierschichten der Unterkreide erfahren keine signifikanten Wechselwirkungen (Änderungen liegen innerhalb der gewählten  $\eta$ -Intervalle).

Abb. 4.3.4 zeigt den sich zu den jeweiligen Zuständen ausbildenden Senkungstrog an der Geländeoberfläche, sowie die tatsächlich gemessenen Senkungströge (Stand 1977 und 1985). Die Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Trogschnittfläche ist zufriedenstellend, ebenfalls die Zunahme des Senkungsverlaufs zwischen dem Nivellement von 1977 und 1985, die i. w. durch die Auffahrung des Feldes 1 hervorgerufen wurde und in den Berechnungen etwa im gleichen Umfang zum Ausdruck kommt.

Der Einfluß der Hohlraumöffnungen für die Einlagerungsfelder 4 und 5a ist vergleichsweise gering, da die großräumige Spannungsumlagerung infolge des alten Erzabbaus weitgehend abgeschlossen ist.

Ein Unterschied zwischen Messung und Rechnung besteht in der Form des Senkungstrog. Während die Nivellements ein deutliches Maximum über dem westlichen Spülversatzfeld aufweisen (dabei ist allerdings die geringe Punktdichte in diesem Teil des Nivellements zu berücksichtigen), zeigen die berechneten Ergebnisse einen homogenen (geglätteten) Senkungstrog (vgl. hierzu Kap. 5).

#### 4.4 Ergebnisse zum Schnitt c-c (Ost-West-Schnitt)

Das Anfang bis Mitte der 70'er Jahre aufgefahrene südliche Grubenfeld (LHD-Feld) steht zum Teil in tektonisch höher vorbeanspruchtem Gebirge. Die seinerzeit gewonnenen bergmännischen Erfahrungen weisen Gebirgsverhältnisse aus, die unter Einsatz konventionellem Ankerausbaus zu erheblichen Verbrüchen im LHD-Feld während der Erzgewinnungsphase führten. Hingegen war die Gesamtstabilität des Feldes zu keiner Zeit gefährdet.

Den o. g. bergmännischen Erfahrungen Rechnung tragend, sowie in Übereinstimmung mit Schnitt a-a (vgl. Kap. 4.2), werden im primären Beanspruchungszustand (Zustand 1) die Modellschichten 5 und 6 (Kimmeridge / Korallenoolith) hinsichtlich ihrer Eingangsparameter als "geschwächt" betrachtet.

Zusammen mit der geologisch ausgewiesenen und im Modell berücksichtigten Störungszone a / b stellen sich im Modell Beanspruchungszustände ein, die zunächst in den Schichten 5 und 6 keine Festigkeitsüberschreitung nach sich ziehen (Abb. 4.4.1).

Die errechneten  $\eta$ -Werte liegen hier, sowie im weiteren Umfeld der Störungszone a / b (s. Abb. 3.1.3) im Bereich von 1,1 bis 1,49. Für die Modellschichten 2 und 3 (Barriereschichten der Unterkreide) ergeben sich  $\eta$ -Werte zwischen 1,5 und 3,5.

Als Folge großräumiger Spannungsumlagerung stellt sich eine Entlastung des Gebirges über der Störungszone a / b ein, so daß das Verhältnis  $\eta$  im oberen Teil der Schicht 2 lokal über der Störungszone Werte bis 12,5 erreicht.

Im Zustand 2 (Errichtung des bestehenden Grubengebäudes) ergibt sich mit den angesetzten Stoffparametern ein vollständig plastifizierter Bereich ( $\eta = 1$ ) des LHD-Feldes (Abb. 4.4.2). Eine über dem gesamten Abbaufeld liegende Zone erhöhter Auflockerung infolge Abbau (Bereich c) wird durch entsprechende Reduzierung der elastischen Stoffparameter unterstellt und reagiert ebenfalls plastisch. In den östlichen und westlichen Randzonen des "gebrochenen" LHD-Feldes werden entsprechende Teilbereiche des Kimmeridge lokal höher scherbeansprucht ( $\eta = 1,1$  bis 1,49), jedoch bleiben die Gesamtreaktionen des Deckgebirges, im Vergleich zum Zustand 1, vorzugsweise in den Schichten der Barriere unverändert.

Die simulierte Errichtung der Einlagerungsfelder 3, 2 und 5 (Abb. 4.4.3) erzeugt keine signifikanten Wechselwirkungen im Deckgebirge. Bei dem unterstellten Durchbaugrad ( $D = 20\%$  und  $\nu = 0,3$ ) bleibt der Einlagerungshorizont standfest. Lediglich im westlichen Randbereich des LHD-Feldes reicht die plastische Zone ( $\eta = 1$ ) bis an die östliche Begrenzung des Feldes 2 heran.

Verlauf und Maximalwert des berechneten zum gemessenen Senkungstrog wird in Abb. 4.4.4 vergleichend gegenübergestellt. Lage und Form des berechneten Troges stimmen mit dem gemessenen gut überein, jedoch wird der Maximalwert der Vertikalverschiebung nur zu  $\sim 60\%$  erreicht (vgl. hierzu Kap. 5).



## 5. Zusammenfassende Ergebnisse und Bewertung

Berechnungen mit der Methode der Finiten Elemente stellen eine Näherungslösung des jeweilig betrachteten Problems dar, deren Realitätsnähe wesentlich von der richtigen Einschätzung der natürlichen Vorgänge und deren Übertragung auf die vorhandenen Modelle und Lösungsansätze abhängig ist. Den vorliegenden großräumigen Rechenmodellen liegen folgende wesentliche Annahmen zugrunde, deren Gesamtheit vor dem Hintergrund des vorhandenen Datenmaterials eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung ermöglichen:

- Die Parameter beziehen sich auf das Nachbruchverhalten von Gesteinsproben; damit wird ein Durchtrennungsgrad des Modellgebirges von nahe 100 % angesetzt. Bei Erreichen des rechnerischen Bruches werden deshalb die gleichen Stoffparameter weiter verwandt.
- Das Nachbruchverhalten läßt sich gut mit einem linear elastischen, idealplastischen Stoffgesetz beschreiben.
- Bei Erreichen der Bruchfestigkeit ist keine weitere Lastaufnahme über die Fließgrenze hinaus möglich.
- Das Verhalten tektonischer Elemente, sowie die grubennahe Auflockerung des Gebirges durch den Erzabbau in tektonisch stärker beanspruchten Bereichen (LHD-Feld, östliches Spülversatzfeld) wird durch eine Abminderung der elastischen Kennwerte  $E$  und  $\nu$  berücksichtigt; das Maß der Abschwächung wurde eingeschätzt.
- Der Durchbaugungsgrad  $D$  der einzelnen Felder führt zu einer linearen Reduzierung des Elastizitätsmoduls betroffener Elemente.

- Das flächenhafte Auflegen des Deckgebirges und der damit einhergehende primäre dreiaxiale Spannungszustand im AbbauhORIZONT wird durch den Bergbau in Abhängigkeit vom jeweiligen Durchbaugrad tendenziell hin zu einaxialem Abtragverhalten durch Pfeiler und Festen verändert. Somit erfolgte eine Reduzierung von  $\nu$ .

In den Berechnungen werden im alten Grubengebäude Beanspruchungszustände ermittelt, die deutlich über das in Wirklichkeit angetroffene Maß hinausgehen. Dies beruht auf dem Ansatz abgeschwächter Scherparameter, die Ausbau und Versatz unberücksichtigt lassen. Trotz dieser Schwächung bleiben benachbarte Grubenbaue und speziell die neu aufzufahrenden Einlagerungsfelder bei den in den Berechnungen gewählten Parametern standfest.

In der Barriere der Unterkreideschichten werden an keiner Stelle Überbeanspruchungen des Gebirges ausgewiesen. Die zusätzliche Auffahrung der Einlagerungsfelder bewirkt nur graduelle Änderungen der weiträumigen Spannungsverhältnisse. Der entscheidende Eingriff in das Tragverhalten des Gebirges erfolgt durch die Hohlräume der Erzgewinnungsphase, die eine großräumige Spannungsumlagerung, und damit verbunden den Aufbau eines Traggewölbes bewirken. Dies drückt sich auch im Verhalten der berechneten Senkungströge aus, die durch das Übertagenivellement prinzipiell bestätigt werden. Die Hauptgeländesenkungen waren mit Ende der wirtschaftlichen Erzgewinnung abgeschlossen. Die Errichtung des Feldes 1 verursachte nur einen geringen Senkungszuwachs. Die rechnerische Auswirkung der noch zu erstellenden Einlagerungsfelder ist ebenfalls vergleichsweise gering.

Der Vergleich berechneter zu gemessener Senkungströge macht folgenden Unterschied deutlich:

- Im Nord-Süd-Schnitt (Schnitt a-a) liefert die Rechnung geringfügig höhere Senkungsbeträge als das Übertagenivelllement, hingegen ergeben sich die Senkungsbeträge in den Ost-West-Schnitten (Schnitt b-b, c-c) deutlich geringer.

Trotz der o. g. Diskrepanz im Senkungsverhalten kann die erzielte Näherung als befriedigend angesehen werden. Untertägige Ereignisse, sowie gebirgsmechanische Randbedingungen werden hinreichend genau korreliert. Außerdem ließen sich untertägige bergmännische Erfahrungen als auch übertägiges Nivellement ausreichend genau beschreiben.

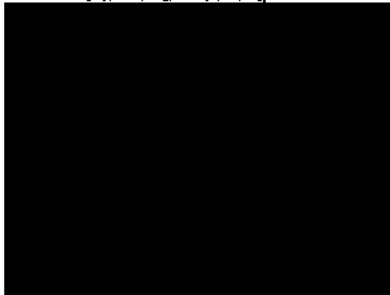
Die Unterschiede im Senkungstrogverhalten müssen vor dem Hintergrund der idealisierenden Modellabbildungen gesehen werden. Durch die spezifische flächenhafte Struktur der Grube, deren nordsüdgerichtete Längsachse zur Querausdehnung im Verhältnis 1 : 0,5 (im Falle des alten Grubengebäudes), bzw. 1 : 0,6 (Endlagergeometrie) steht, werden vertikale Gebirgslasten vorzugsweise über die "kurze Seite" unter Gewölbebildung abgetragen. Das sich somit einstellende Traggewölbe über dem Grubengebäude hat, örtliche Tektonik sowie unterschiedliche Durchbauungsgrade vernachlässigend, einen nordsüdorientierten "sattelförmigen" Charakter.

Eine zweidimensionale Modellscheibe setzt im ebenen Verzerungszustand jedoch eine unendliche Fortsetzung der Geometrie senkrecht zur Scheibenebene voraus. Sich ändernde geometrische Einflüsse aus der dritten Richtung können somit nicht berücksichtigt werden. Die wirklichen geometrischen Verhältnisse des Grubengebäudes unterstellt, muß die Modellscheibe in Längsrichtung (Nord-Süd-Richtung) zu "weich" und dazu senkrecht stehende Ost-West-orientierte Modellscheiben zu "steif" reagieren. Diese Verhältnisse spiegeln sich in den berechneten Senkunströgen wider.

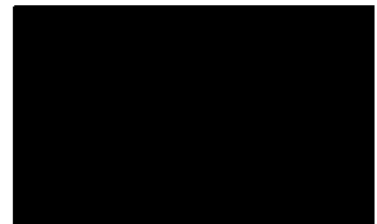
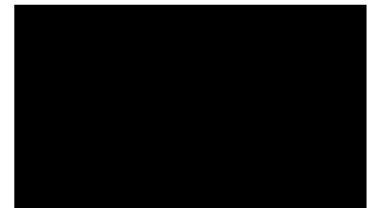
Die vorliegenden Finite-Elemente-Berechnungen an drei großräumigen Schnitten durch das Grubengebäude der Schachanlage Konrad haben bei Berücksichtigung des derzeitigen Wissensstandes über die vorhandenen Gebirgsverhältnisse keine für die Errichtung des Endlagers kritischen gebirgsmechanischen Verhältnisse ergeben. Im wichtigen Bereich der Barrierschichten der Unterkreide wurden keine Brüche, bzw. signifikante Schwächungen ausgewiesen.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



Sachbearbeiter:



Abbildungsverzeichnis

- 2.1.1 Geologischer Nord-Süd-Schnitt (R 96 000)
- 2.1.2 Geologischer Ost-West-Schnitt (H 83 250)
- 2.1.3 Geologischer Ost-West-Schnitt (H 82 350)
- 2.1.4 Lage der Modellschnitte und Probennahmeorte im Grubenriß
  
- 3.1.1 Einarbeitung der Stratigraphie, sowie tektonischer Elemente, in das Berechnungsmodell (Nord-Süd-Schnitt a-a)
- 3.1.2 Einarbeitung der Stratigraphie, sowie tektonischer Elemente, in das Berechnungsmodell (Ost-West-Schnitt b-b)
- 3.1.3 Einarbeitung der Stratigraphie, sowie tektonischer Elemente, in das Berechnungsmodell (Ost-West-Schnitt c-c)
- 3.1.4 Finite-Elemente-Modell KONRAD N-S-Schnitt a-a
- 3.1.5 Finite-Elemente-Modell KONRAD O-W-Schnitt b-b
- 3.1.6 Finite-Elemente-Modell KONRAD O-W-Schnitt c-c
  
- 3.2.1  $\delta$ - $\epsilon$ -Diagramm eines Triaxialversuches im Pre-, und Post-failure-Bereich an einer KONRAD-Probe
  
- 4.2.1 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt (Primärzustand)
- 4.2.2 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt (Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)
- 4.2.3 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt (Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und des geplanten Einlagerungsfeldes 6 a)
- 4.2.4 Entwicklung des berechneten Senkungstroges in unterschiedlichen Teufen
- 4.2.5 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog im Nord-Süd-Schnitt

- 4.3.1 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 83 250 (Primärzustand)
- 4.3.2 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 83 250 (Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)
- 4.3.3 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 83 250 (Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 4 und 5 a)
- 4.3.4 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog im Ost-West-Schnitt (H 83 250)
  
- 4.4.1 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 82 350 (Primärzustand)
- 4.4.2 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 82 350 (Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)
- 4.4.3 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt  
H 82 350 (Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 3, 2 und 5)
- 4.4.4 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog im Ost-West-Schnitt (H 82 350)

Literaturverzeichnis

- <1> BGR-Bericht: "Berechnungen zur Standsicherheit geplanter untertägiger Hohlräume Schachtanlage Konrad".- BGR, Arch.-Nr. 98 543; Hannover, 1985.
- <2> WBK-Gutachten: "Gutachten über die Standfestigkeit der Schächte 1 und 2 der Eisenerzgrube Konrad in Salzgitter im Hinblick auf die weitere Verwendung für die Erz- und Materialförderung, Seilfahrt und Wetterführung".- WBK, Bearbeitungs-nr. 4522-83-083-020, Teilaufgabe 2321.05; Bochum, 1984.
- <3> GSF-Bericht: "Felsmechanische Gesteinsparameter".- Teilaufgabe 2219.12, AP Nr. 1 - 3; Braunschweig, 1985.
- <4> BGR-Bericht: "Festigkeitsbestimmende Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Hangend- und Liegendbereich der Grube Konrad".- BGR, Arch.-Nr. 99 467; Hannover, 1986.
- <5> Drucker, D. C.: "Plasticity".- Structural Mechanics, ed., Goodier I. N., and Hoff, N. J., Pergamon Press, 1960, pp. 407 - 455.
- <6> Zienkiewicz, O. C.: "Methode der finiten Elemente".- 2. Aufl., Carl Hauser Verlag; München, 1984.
- <7> BGR-Bericht: "Spannungsmessungen auf der Schachtanlage Konrad".- BGR, Arch.-Nr. 98 292; Hannover, 1985.

- <8> BGR-Bericht: "Auswirkungen bergbaulicher Maßnahmen auf den Senkungstrog der Grube Konrad".- BGR, Arch.-Nr. 99 446; Hannover, 1985.
- <9> Bathe, K. I.: "Finite Element Procedures in Engineering Analysis".- Springer Verlag, 1982.



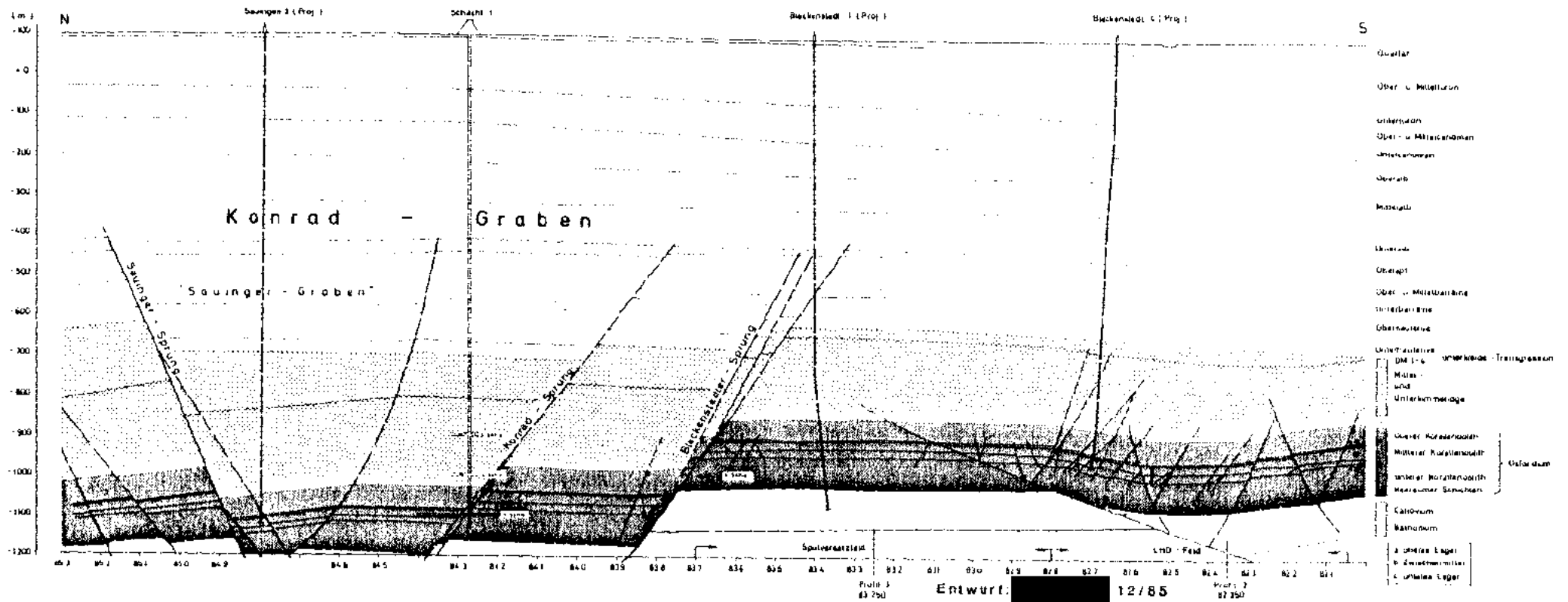


Abb. 2.1.1 Geologischer Nord-Süd-Schnitt (R 96 000)

BGR Hannover

1986

Ref. 2.11/2.14

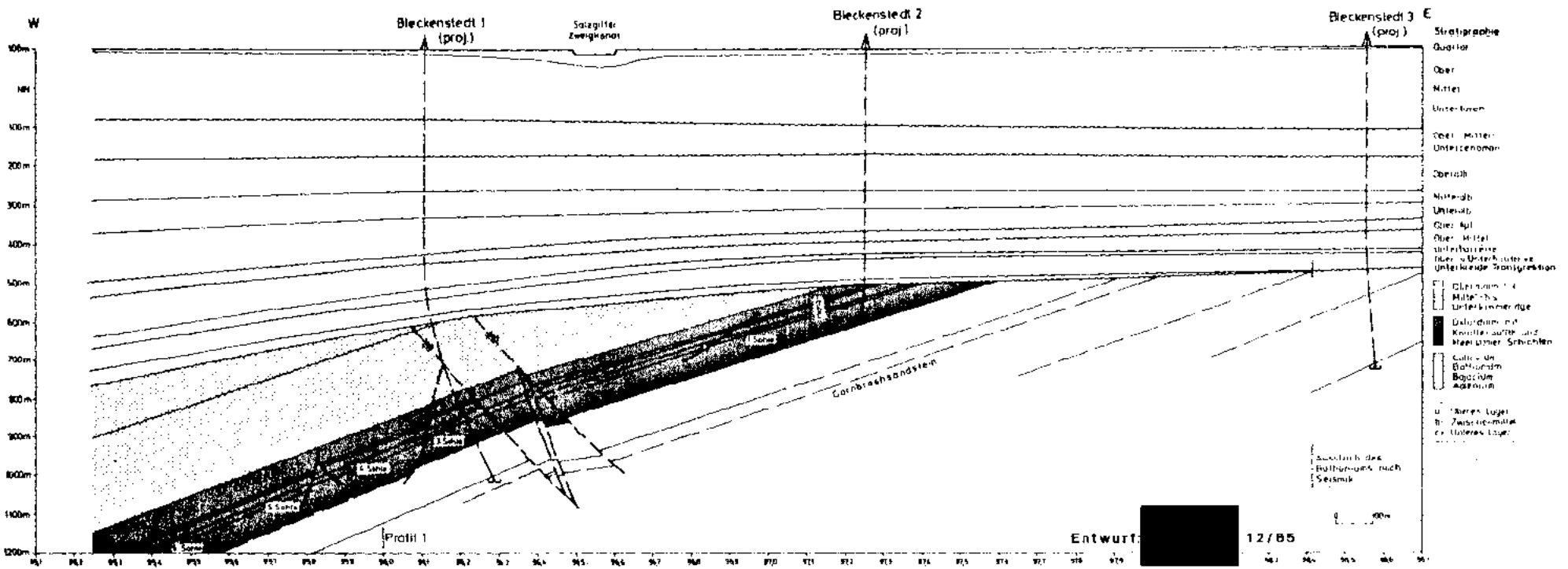
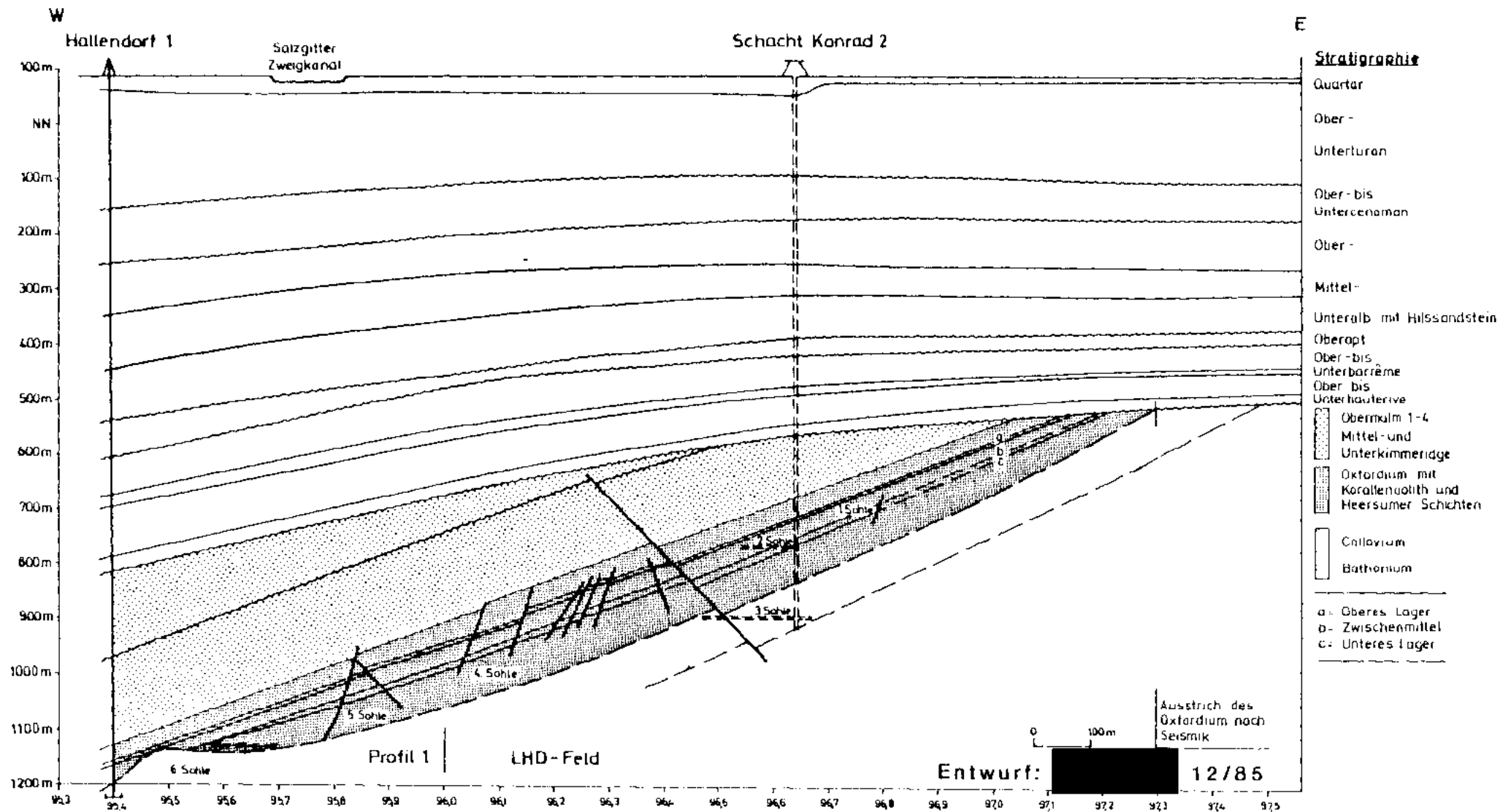


Abb. 2.1.2 Geologischer Ost-West-Schnitt (H 83 250)

BGR Hannover

1986

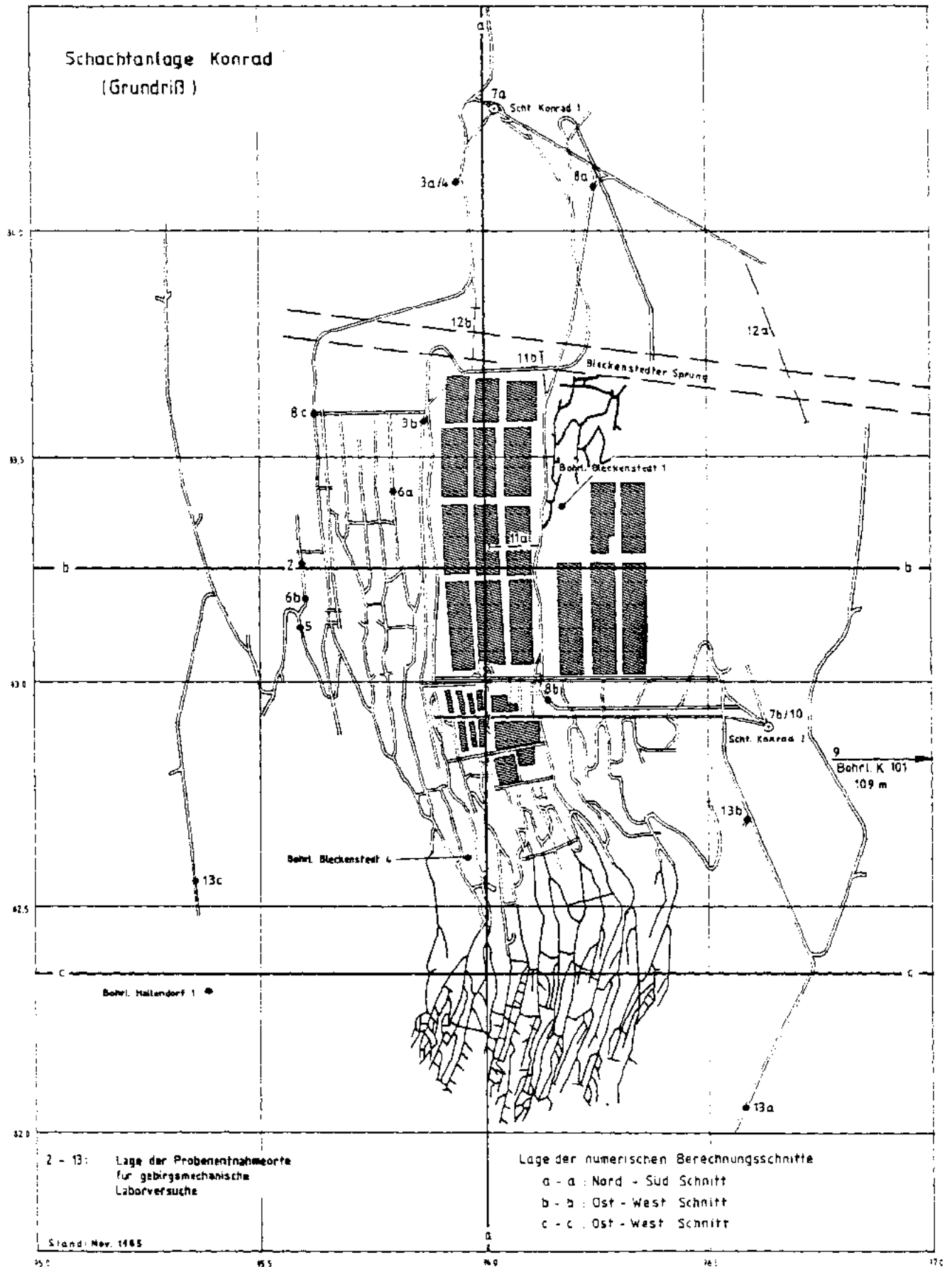
Ref. 2.11/2.14



**Abb. 2.1.3 Geologischer Ost-West-Schnitt (H 82 350)**

**BGR Hannover  
1986**

**Ref. 2.11/2.14**



**Abb. 2.1.4 Lage der Modellschnitte und Probenahmeorte im Grubenriß**

**BGR Hannover**  
1986

Ref. 2.11/2.14

Einarbeitung der Stratigraphie  
sowie tektonischer Elemente  
in das Berechnungsmodell

N-S-Schnitt a-a  
(R 96 000)

- Schicht 1: - Quartär  
- Oberturon  
- Mittelturon  
- Unterturon  
- Obercenoman  
- Mittelcenoman
- Schicht 2: - Unter cenoman  
- Oberalb  
- Mittelalb
- Schicht 3: - Unter alb  
- Oberapt  
- Oberbarrême  
- Mittelbarrême  
- Unterbarrême
- Schicht 4: - Oberhauverive  
- Unterhauverive

- Schicht 5: - Obermalm 1-4  
- Mittelkimmeridge  
- Unterkimmeridge
- Schicht 6: - Oberer Korallenoolith  
- Mittlerer Korallenoolith  
- Unterer Korallenoolith
- Schicht 7: - Callovium  
- Bathonium  
- Bajocium

- (a) Südliche Randverwerfung des Sainger Grabens
- (b) Konrad-Sprung
- (c) Bleckenstedter Sprung
- (d) + (e) Tektonik im Bereich des LHO-Feldes

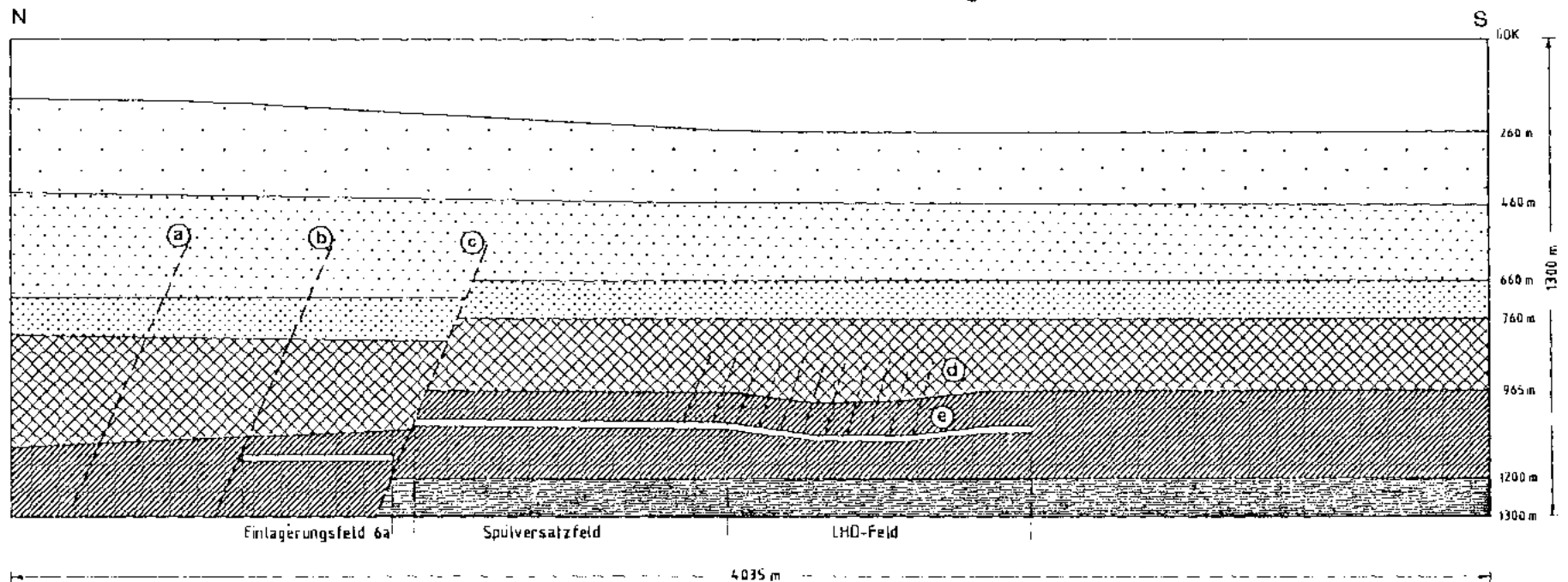


Abb. 3.1.1 Einarbeitung der Stratigraphie, sowie tektonischer Elemente  
in das Berechnungsmodell (Nord-Süd-Schnitt a-a)

BGR Hannover  
1986

Ref. 2.11/2.14

Einarbeitung der Stratigraphie  
sowie tektonischer Elemente  
in das Berechnungsmodell

O-W-Schnitt b-b  
(H 83 250)

Schicht 1: - Quartär  
- Oberteron  
- Mittelteron  
- Unterturon  
- Obercenoman  
- Mittelcenoman  
- Untercenoman

Bereich der  
Oberkreide

Schicht 2: - Oberalb  
- Mittelaib  
- Unteralb  
- Oberapt  
- Oberbarrême  
- Mittelbarrême  
- Unterbarrême

Bereich der  
Unterkreide

Schicht 3: - Oberhauterive  
- Unterhauterive

Schicht 4: - Obermalm 1-4  
- Mittelkimmeridge  
- Unterkimmeridge

Bereich des  
Majms

Schicht 5: - Oberer Korallenoolith  
- Mittlerer Korallenoolith  
- Unterer Korallenoolith

Schicht 6: - Callovium  
- Bathonium  
- Bajocium

- (a) Störungszone nord-süd-streichend
- (b) Bereich primär erhöhter Tektonik
- (c) Bereich primär erhöhter Tektonik

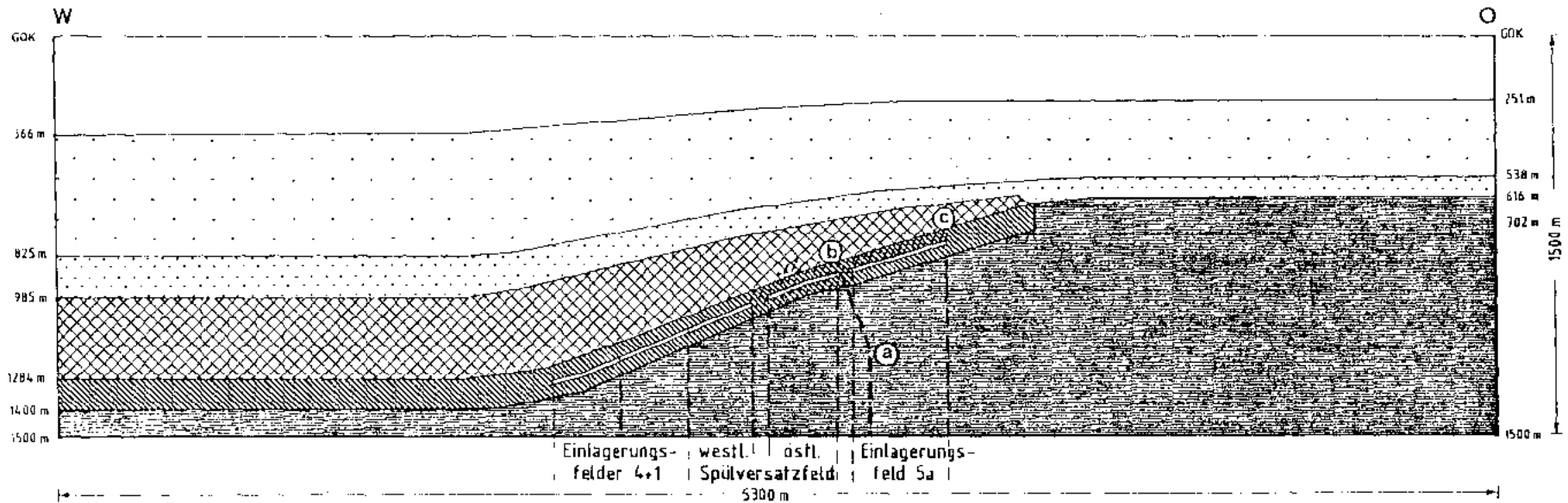


Abb. 3.1.2 Einarbeitung der Stratigraphie sowie tektonischer  
Elemente in das Berechnungsmodell (Ost-West-Schnitt b-b)

BGR Hannover  
1986

Ref. 2.11/2.14

Einarbeitung der Stratigraphie  
sowie tektonischer Elemente  
in das Berechnungsmodell  
O-W-Schnitt c-c  
(H 82 350)

- Schicht 1: - Quartär  
- Oberjuron  
- Mittelturon  
- Unterturon  
- Obercenoman  
- Mittelcenoman  
- Untercenoman
- Schicht 2: - Oberalb  
- Mittelalb  
- Unteralb  
- Oberapt  
- Oberbarrême  
- Mittelbarrême  
- Unterbarrême
- Schicht 3: - Oberhauferive  
- Unterhauferive

Bereich der Oberkreide

Bereich der Unterkreide

- Schicht 4: - Obermalm 1-4
- Schicht 5: - Mittelkimmeridge  
- Unterkimmeridge
- Schicht 6: - Oberer Korallenoolith  
- Mittlerer Korallenoolith  
- Unterer Korallenoolith
- Schicht 7: - Callovium  
- Bathonium  
- Bajocium

Bereich des Malm

Ber. d. Doggers

- (a) Störungszone nord-süd-streichend (Bereich Oxford/Kimmeridge)
- (b) Störungszone nord-süd-streichend (Bereich Dogger)
- (c) Bereich sekundärer Klüftung über LHD-Feld

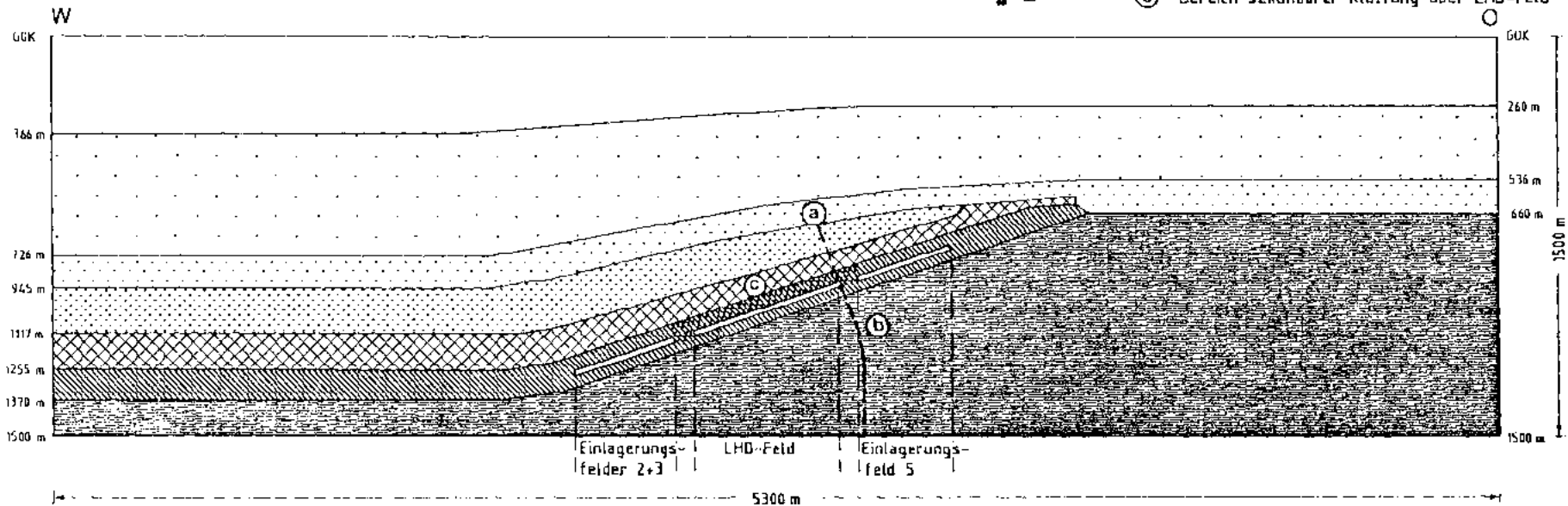


Abb. 3.1.3 Einarbeitung der Stratigraphie, sowie tektonischer Elemente in das Berechnungsmodell (Ost-West-Schnitt c-c)

Finite-Elemente-Modell  
KONRAD N-S-Schnitt (R 96 000)

358 Knoten  
271 Elemente (4-Knoten isoparametrisch)

Alter Grubenbau und Einlagerungsfeld 6a

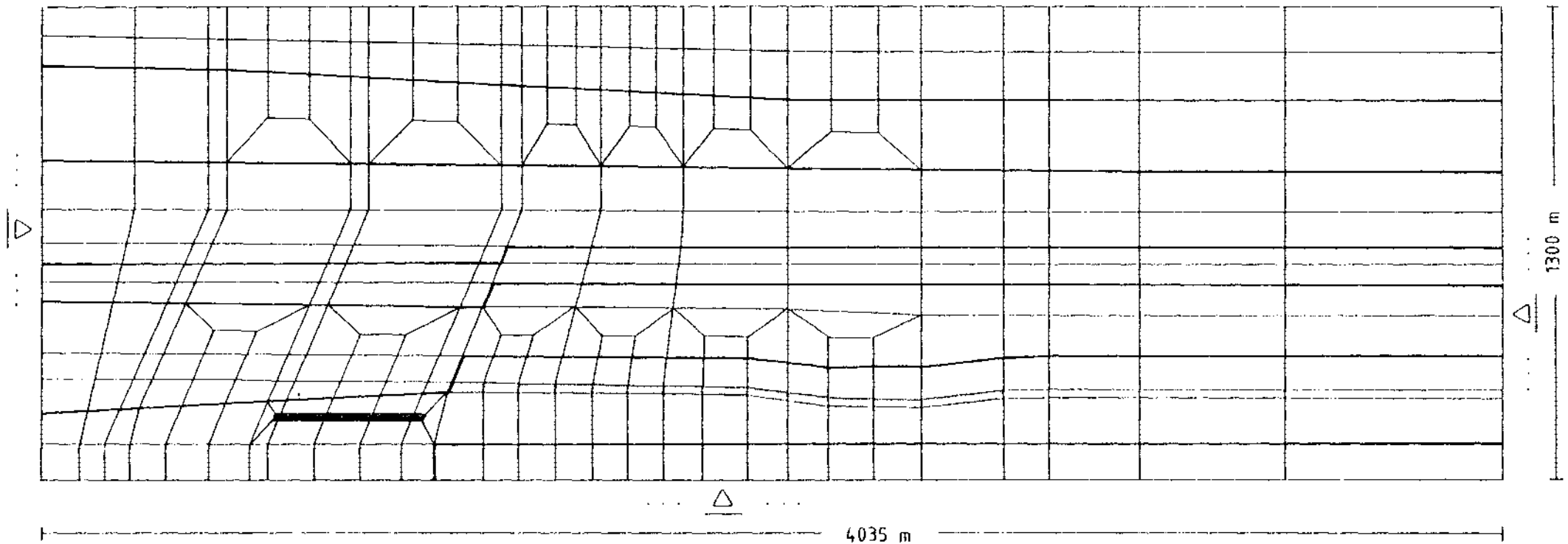


Abb. 3.1.4 Finite-Elemente-Modell KONRAD N-S-Schnitt a-a



Finite-Elemente-Modell  
KONRAD O-W-Schnitt b-b (H 83 250)

474 Knoten  
438 Elemente (4-Knoten isoparametrisch)

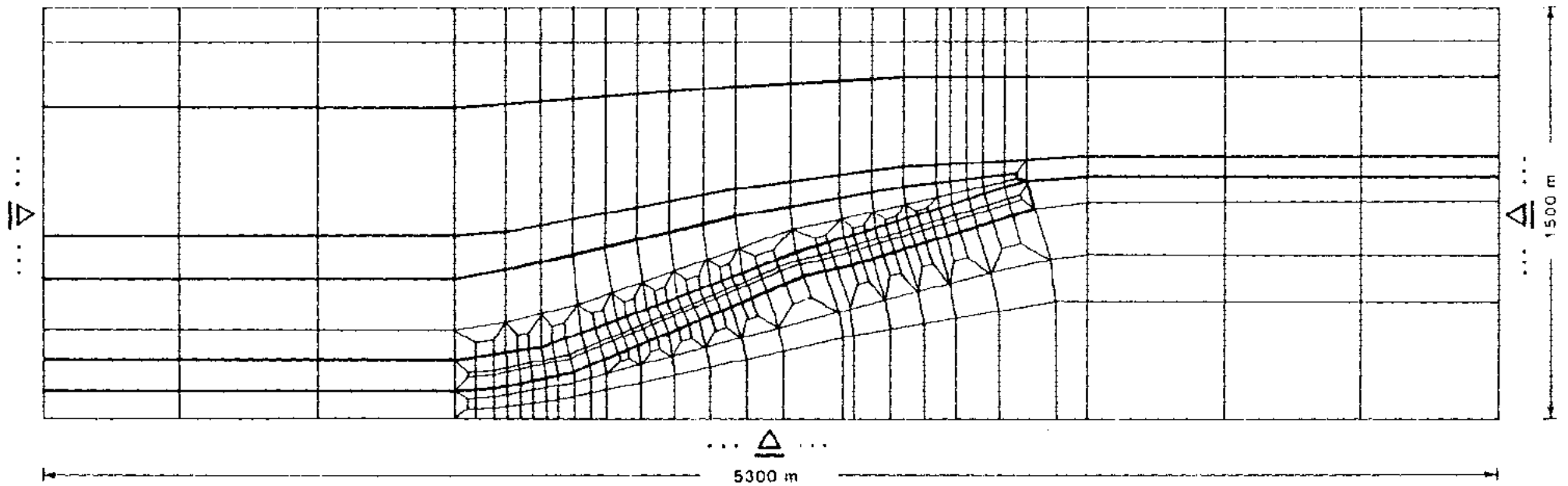


Abb. 3.1.5 Finite-Elemente-Modell KONRAD O-W-Schnitt b-b

BGR Hannover  
1986

Ref. 2.11/2.14

Finite-Elemente-Modell  
KONRAD O-W-Schnitt c-c (H 82 350)

398 Knoten  
366 Elemente (4-Knoten isoparametrisch)

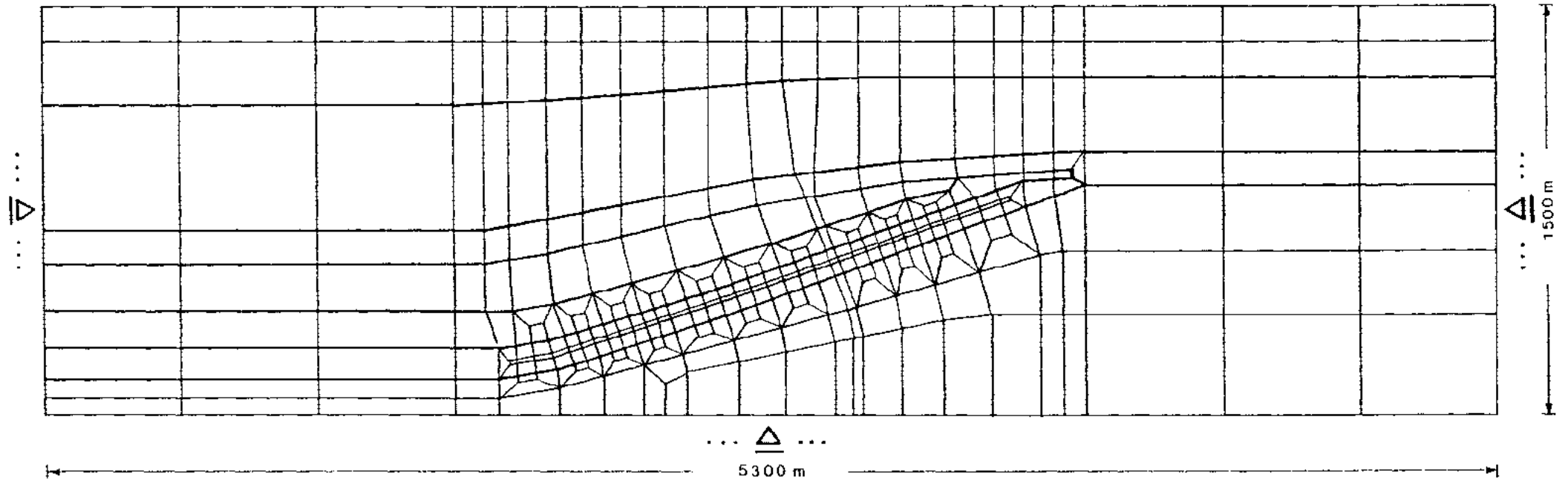


Abb. 3.1.6 Finite-Elemente-Modell KONRAD O-W-Schnitt c-c

BGR Hannover

1986

Ref. 2.11/2.14

$\sigma_1 - \sigma_3$   
[MPa]

Kernbez.: K 101/057/405/01  
Labor - Nr.: 85014, Proben - Nr.: 333  
Teufe: 392,45 - 392,70 [m]

Versuchsbedingungen:

$\dot{\epsilon} = 1 \cdot 10^{-5}$  [sec<sup>-1</sup>]

$\sigma_3 = 7,5$  [MPa]

RVM = Restverformungsmodul

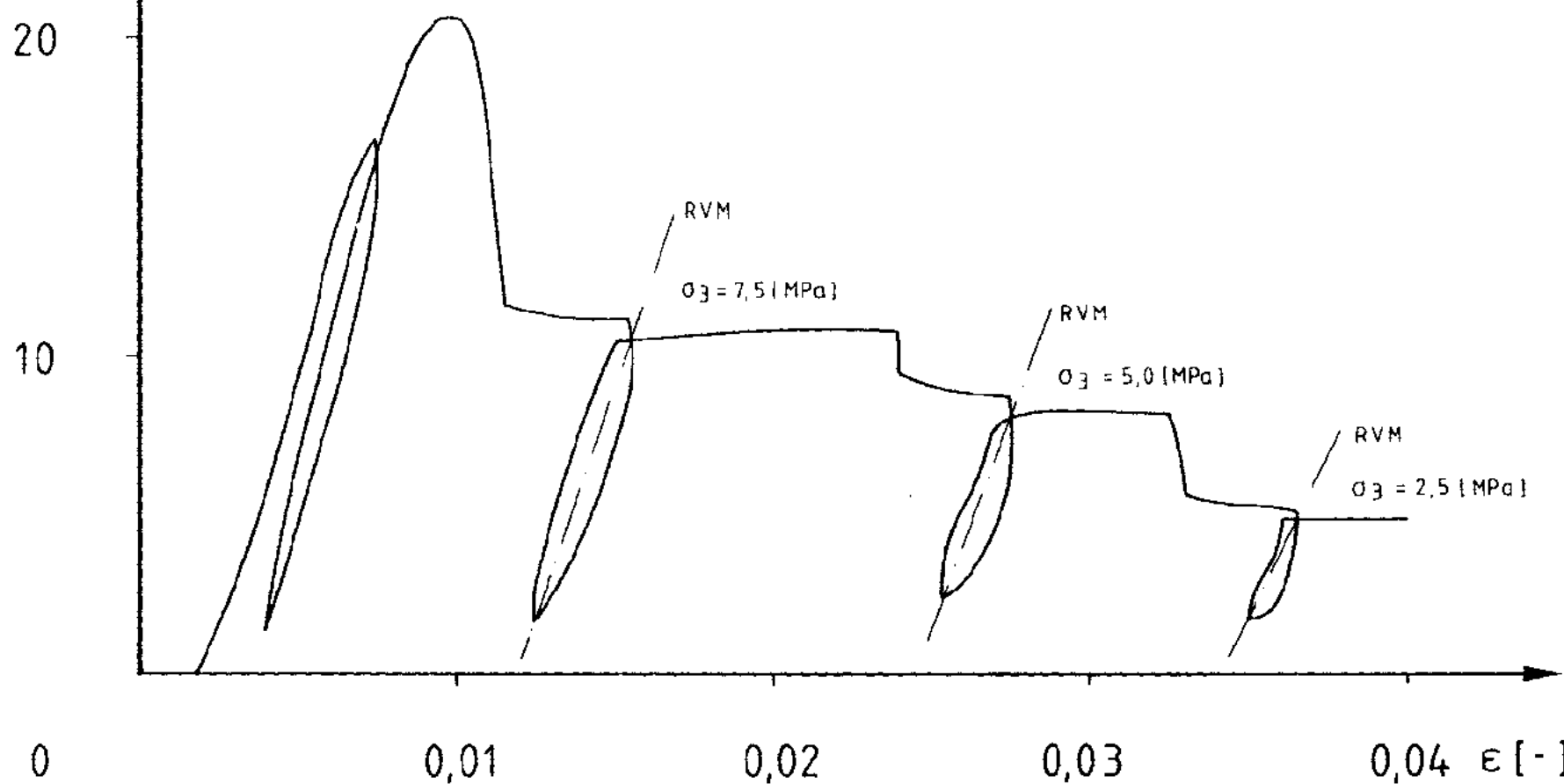


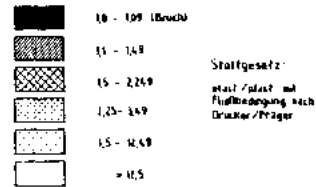
Abb. 3.2.1  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm eines Triaxialversuches im Pre- und Post-failure-Bereich an einer KONRAD-Probe

$$\eta = \frac{\sigma_1 \sqrt{1-\mu}}{\sigma_0 \sqrt{1-\mu^2}}$$

mit  $\sigma_1 \sqrt{1-\mu} = \alpha \cdot \beta_1 \cdot K$  mit  $\beta_1 = 1 - \sigma_0$

$$\sigma_0 \sqrt{1-\mu^2} = \sqrt{\frac{1}{2} [( \sigma_1 - \sigma_2 )^2 + ( \sigma_1 - \sigma_3 )^2 + ( \sigma_2 - \sigma_3 )^2 ]}$$

Primärzustand  
Verteilung der  $\eta$  - Werte



Schicht	Stoffparameter des Primärzustandszustandes			
	Elast. Kennwerte	Bruchparameter		
	$\nu$	$E$ (MPa)	$\psi$ (Grad)	$\sigma$ (MPa)
Schicht 1	0,10	2000	23	1,50
Schicht 2	0,10	3000	25	2,50
Schicht 3	0,10	1000	25	1,50
Schicht 4	0,10	1000	25	1,50
Schicht 5	0,10	1000	23	1,00
Schicht 6	0,10	1000	25	1,00
Schicht 7	0,40	1000	21	1,70
Bereich 2001	0,20	1500	20	0,50
Bereich 01	0,25	2500	20	1,00
Bereich 01	0,30	2500	20	1,00

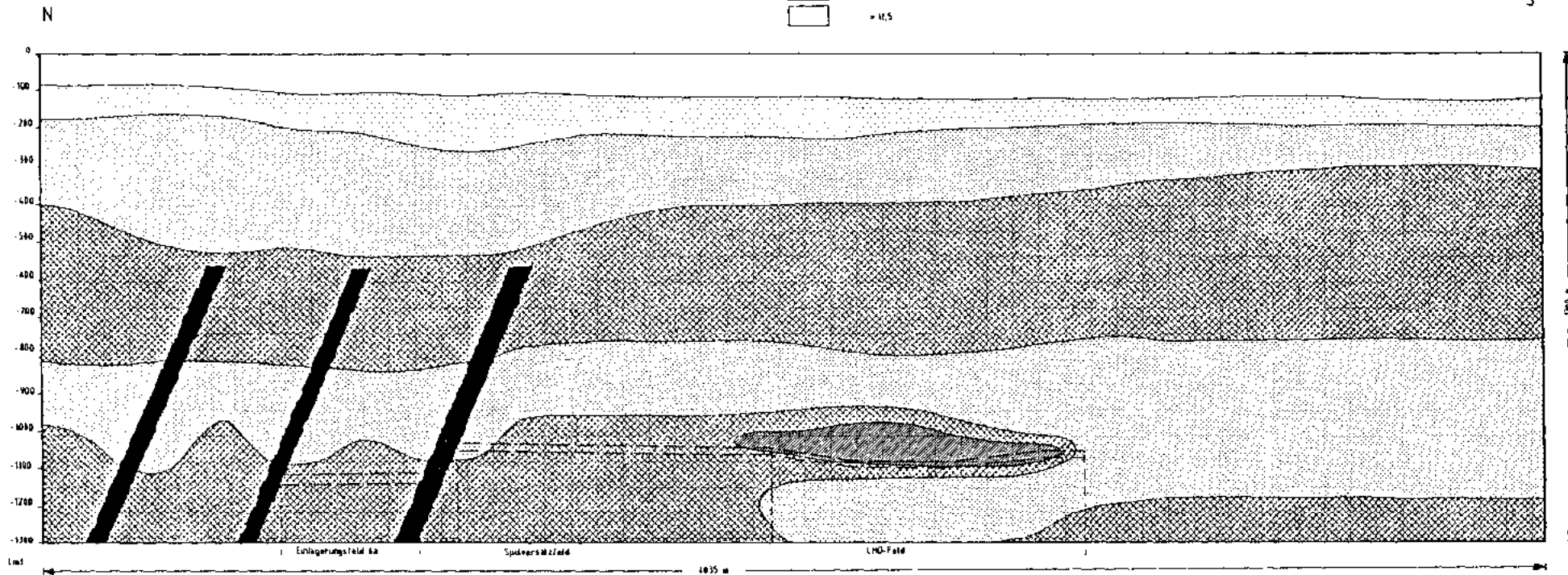


Abb. 4.2.1 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt  
(Primärzustand)

Zustand: Errichtung des Grubengebäudes

Verteilung der  $\eta$  - Werte

$$\eta = \frac{10 \cdot \sqrt{S_1}}{\sqrt{m \cdot S_2}}$$

$$\text{mit } 10 \cdot \sqrt{S_1} = 10 \cdot \sqrt{K} \text{ mit } K = 3 \text{ t/m}^2$$

$$\sqrt{m \cdot S_2} = \sqrt{\frac{1}{4} (a_1 \cdot a_2^2 + 10 \cdot a_2^2 + 10 \cdot a_1^2)}$$

■	1,0 - 1,49	Bruch!
▨	1,5 - 1,49	Stoßgesetze
▩	1,5 - 2,249	elast./plast. mit
▪	2,25 - 3,449	Fließdehnung nach
▫	3,5 - 12,44	Decker/Präger
□	> 12,5	

Stoffparameter	Errichtung des Grubengebäudes			
	Elast. Kennwerte	Bruchparameter		
	$\sigma$	$\epsilon$ (10%)	$\sigma$ (Krit.)	$\epsilon$ (10%)
Schicht 1	114	1000	17	1,00
Schicht 2	114	1000	15	1,50
Schicht 3	114	1000	12	1,50
Schicht 4	114	1000	10	1,50
Schicht 5	114	1000	10	1,00
Schicht 6	114	1000	10	1,00
Schicht 7	114	1000	10	1,00
Schicht 8	114	1000	10	1,00
Schicht 9	114	1000	10	1,00
Schicht 10	114	1000	10	1,00
Schicht 11	114	1000	10	1,00
Schicht 12	114	1000	10	1,00
Schicht 13	114	1000	10	1,00
Schicht 14	114	1000	10	1,00
Schicht 15	114	1000	10	1,00
Schicht 16	114	1000	10	1,00
Schicht 17	114	1000	10	1,00
Schicht 18	114	1000	10	1,00
Schicht 19	114	1000	10	1,00
Schicht 20	114	1000	10	1,00

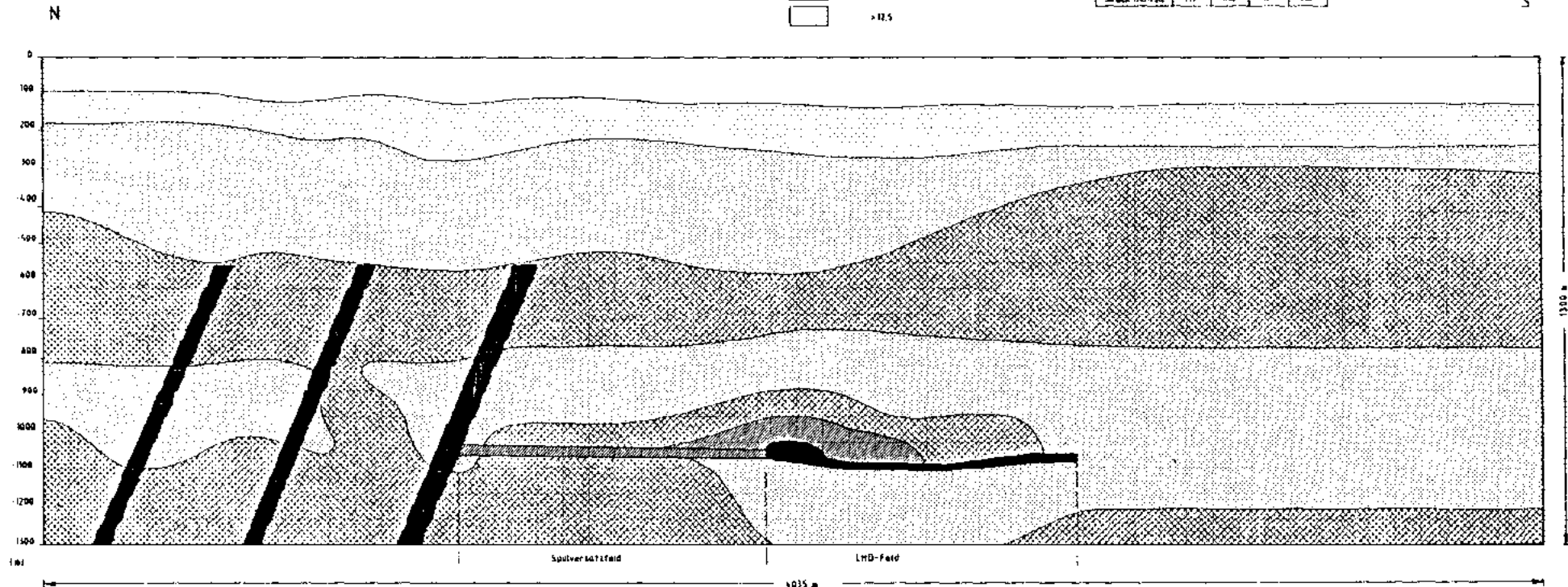


Abb. 4.2.2 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt  
(Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)

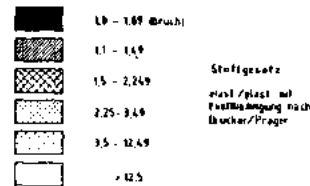
Zustand: Errichtung des Grubengebäudes  
und des geplanten Einlagerungsfeldes 6a

Verteilung der  $\eta$  -Werte

$$\eta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$$

$$\text{mit } \sigma_1 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{4} + \tau^2}$$

$$\text{und } \sigma_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{4} + \tau^2}$$



Stoffparameter Grube und Einlagerungsfeld 6a	Stoffparameter		Stoffparameter	
	Lineare Kennwerte	Bruchparameter	$\sigma$ [MPa]	$\phi$ [Grad]
Schicht 1	0,60	3000	27	2,00
Schicht 2	0,40	3000	27	2,50
Schicht 3	0,60	2000	25	1,50
Schicht 4	0,60	2000	25	1,50
Schicht 5	0,40	3000	27	2,00
Schicht 6	0,60	2000	25	1,50
Schicht 7	0,60	3000	27	1,50
Bruch III/IV	0,20	1500	20	0,50
Bruch II	0,25	2500	21	1,00
Bruch I	0,25	2000	15	1,00
Bruch (Spalten)	0,30	1000	16	1,00
Bruch (Längs)	0,20	1750	16	1,00
Bruch (Längs)	0,10	2100	15	1,00

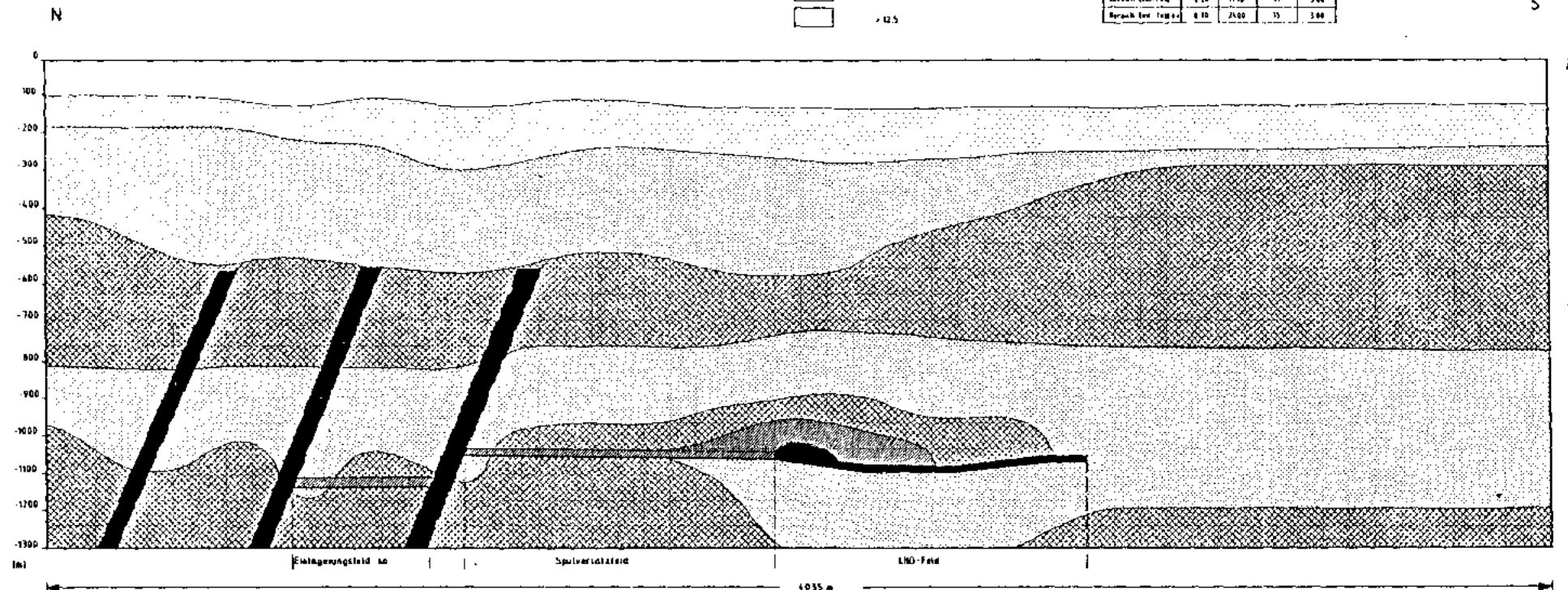
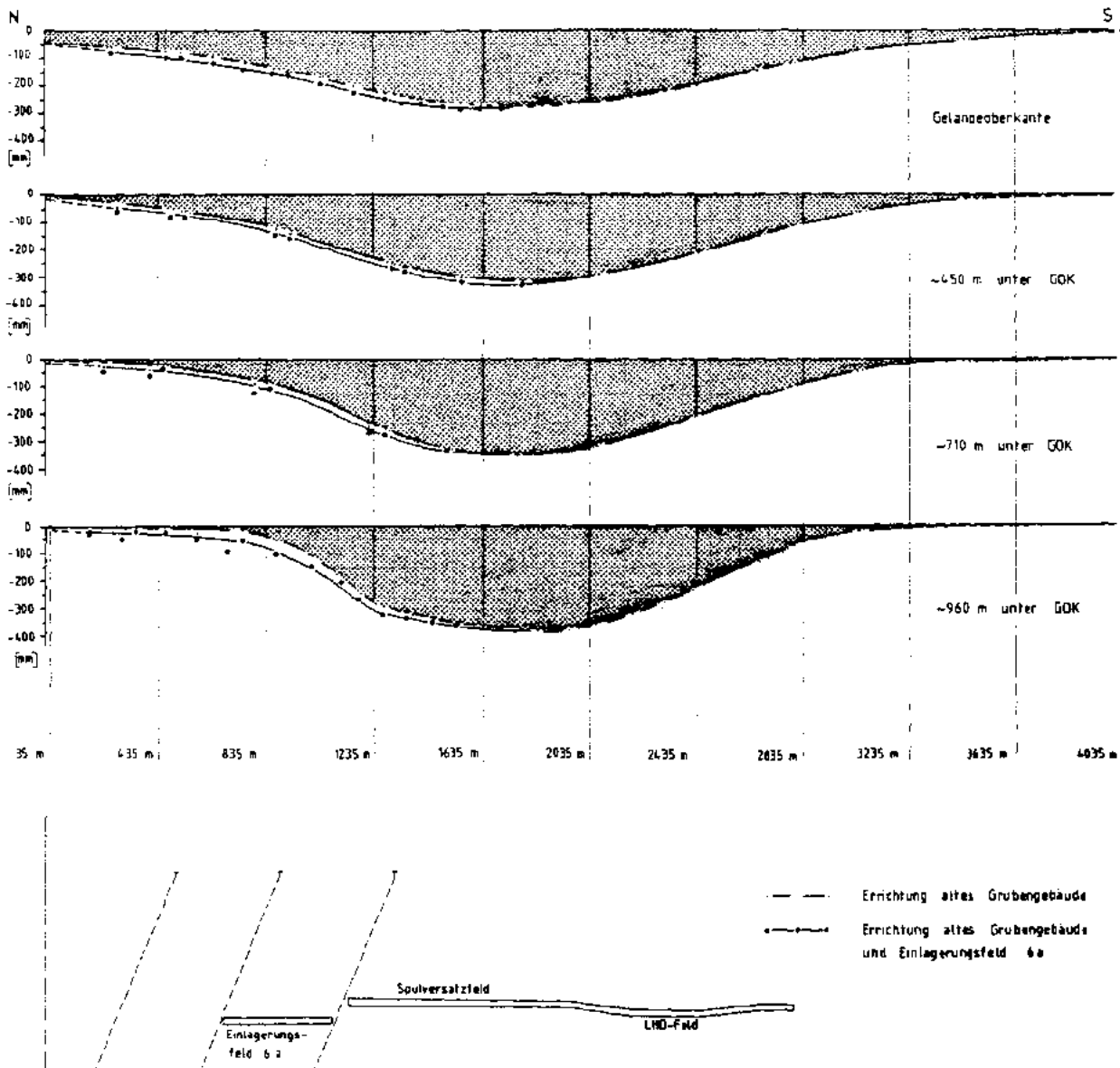


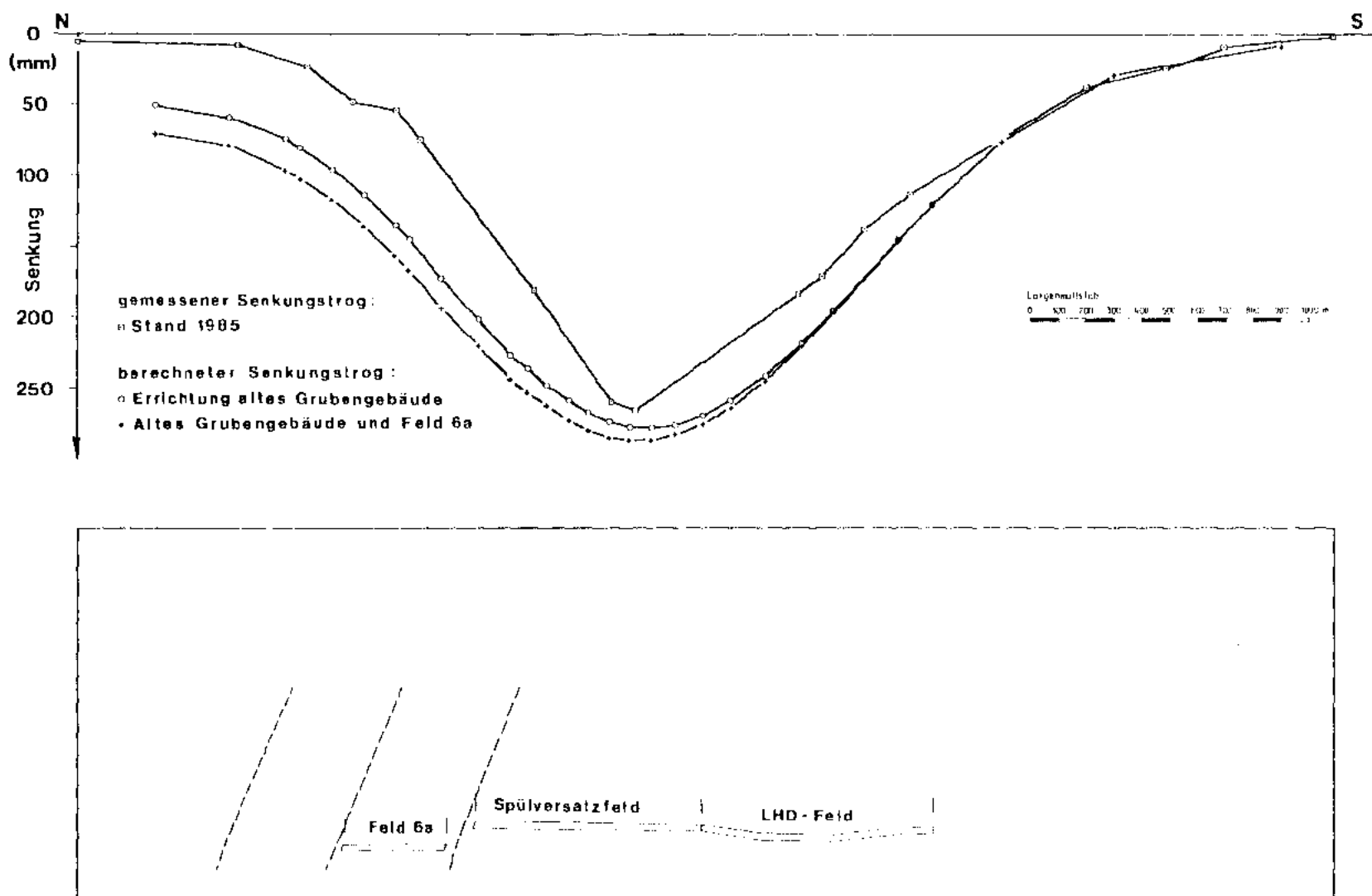
Abb. 4.2.3 Verteilung der Beanspruchung im Nord-Süd-Schnitt  
(Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und des geplanten  
Einlagerungsfeldes 6a)

# Entwicklung des Senkungstroges in unterschiedlichen Tiefen



	Stoffparameter des Primärspannungszustandes				Stoffparameter Errichtung des Grubengebäudes				Stoffparameter: Altes Grubengebäude und Einlagerungsfeld 6a			
	Elastische Kennwerte		Bruchparameter		Elastische Kennwerte		Bruchparameter		Elastische Kennwerte		Bruchparameter	
	$\nu$	E [MPa]	$\varphi$ (Grad)	c [MPa]	$\nu$	E [MPa]	$\varphi$ (Grad)	c [MPa]	$\nu$	E [MPa]	$\varphi$ (Grad)	c [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	23	3,50	0,40	3000	23	3,50	0,40	3000	23	3,50
Schicht 2	0,40	3000	15	2,50	0,40	3000	15	2,50	0,40	3000	15	2,50
Schicht 3	0,40	2000	25	1,50	0,40	2000	25	1,50	0,40	2000	25	1,50
Schicht 4	0,40	2000	25	1,50	0,40	2000	25	1,50	0,40	2000	25	1,50
Schicht 5	0,40	3000	33	3,00	0,40	3000	33	3,00	0,40	3000	33	3,00
Schicht 6	0,40	3000	35	3,00	0,40	3000	35	3,00	0,40	3000	35	3,00
Schicht 7	0,40	3000	33	1,10	0,40	3000	33	1,10	0,40	3000	33	1,10
Bereich ab/c	0,20	1500	20	0,50	0,20	1500	20	0,50	0,20	1500	20	0,50
Bereich d/l	0,35	2500	33	3,00	0,35	2500	33	3,00	0,35	2500	33	3,00
Bereich e)	0,30	2500	35	3,00	0,25	2000	35	3,00	0,25	2000	35	3,00
Bereich Spulversatzfeld					0,30	1020	35	3,00	0,30	1020	35	3,00
Bereich LHD-Feld					0,20	1750	35	3,00	0,20	1750	35	3,00
Bereich Einlagerungsfeld 6					0,30	2400	35	3,00	0,30	2400	35	3,00

Abb. 4.2.4 Entwicklung des berechneten Senkungstroges in unterschiedlichen Tiefen



**Abb. 4.2.5 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog im Nord-Süd-Schnitt**

**BGR Hannover**  
1986  
Ref. 2.11/2.14









Primärzustand

Verteilung der  $\eta$ -Werte

$$\eta = \frac{\text{zul } \sqrt{I_1}}{\text{vorh } \sqrt{I_1}}$$

mit  $\text{zul } \sqrt{I_1} = \alpha \cdot I_1 - K$  mit  $I_1 = 3 \cdot \sigma_m$   
 $\text{vorh } \sqrt{I_1} = \sqrt{\frac{1}{3}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$

-  1,0 - 1,09 ( Bruch )
-  1,1 - 1,49
-  1,5 - 2,249
-  2,25 - 3,49
-  3,5 - 12,49
-   $\geq 12,5$

Stoffgesetz:  
 elast./plast. mit  
 Fließbedingung nach  
 Drucker/Prager

Stoffparameter des Primärzustandes

	Elastische Kennwerte		Bruchparameter	
	$\nu$	$E$ [MPa]	$\varphi$ [Grad]	$\epsilon$ [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	29	3,5
Schicht 2	0,40	2500	20	4,0
Schicht 3	0,37	2000	15	1,5
Schicht 4	0,37	1000	13	1,8
Schicht 5	0,37	1000	15	1,0
Schicht 6	0,37	1000	10	1,1
Bereich a	0,25	2000	10	1,1
Bereich b	0,30	1500	19	3,0
Bereich c	0,30	2500	16	1,0

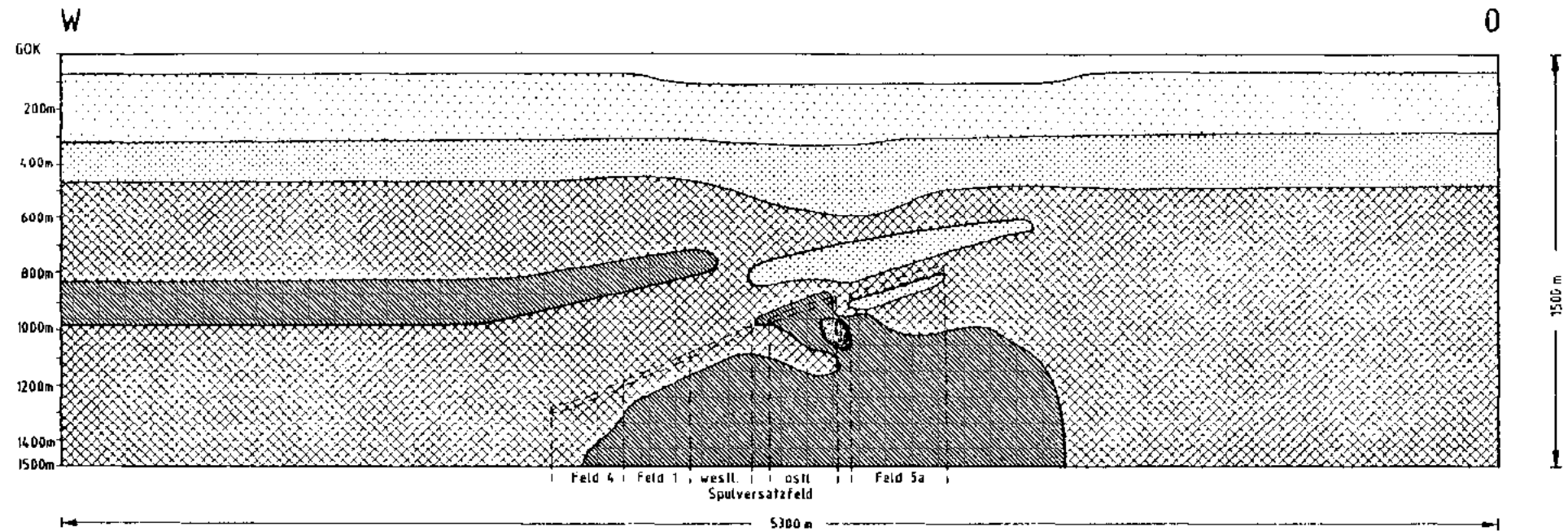


Abb. 4.3.1 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 83 250- (Primärzustand)

BGR Hannover  
 1986

Ref. 2.11/2.14

Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes

Verteilung der  $\eta$ -Werte

$$\eta = \frac{\text{zul. } \sqrt{I_2}}{\text{vorh. } \sqrt{I_2}}$$

mit  $\text{zul. } \sqrt{I_2} = \sigma \cdot l_1 \cdot K$  mit  $l_1 = 3 \cdot a_m$   
 $\text{vorh. } \sqrt{I_2} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$

	1,0	- 1,09 (Bruch)
	1,1	1,49
	1,5	2,249
	2,25	3,49
	3,5	12,49
		$\geq 12,5$

Stoffgesetz:  
 elast./plast. mit  
 Fließbedingung nach  
 Drucker/Präger

Stoffparameter: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes

	Elastische Kennwerte		Bruchparameter	
	$\nu$	$E$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\epsilon_c$ (MPa)
Schicht 1	0,40	3000	23	1,5
Schicht 2	0,40	2500	20	1,0
Schicht 3	0,37	2000	25	1,5
Schicht 4	0,37	1000	33	3,0
Schicht 5	0,37	1000	15	3,0
Schicht 6	0,37	1000	30	1,1
Bereich a	0,25	1000	30	1,1
Bereich b	0,20	2000	35	3,0
Bereich c	0,30	2500	30	3,0
Bereich westl. Spülversatzfeld	0,30	1000	15	1,0
Bereich östl. Spülversatzfeld	0,20	650	15	3,0
Bereich Feld 1	0,30	2000	15	3,0

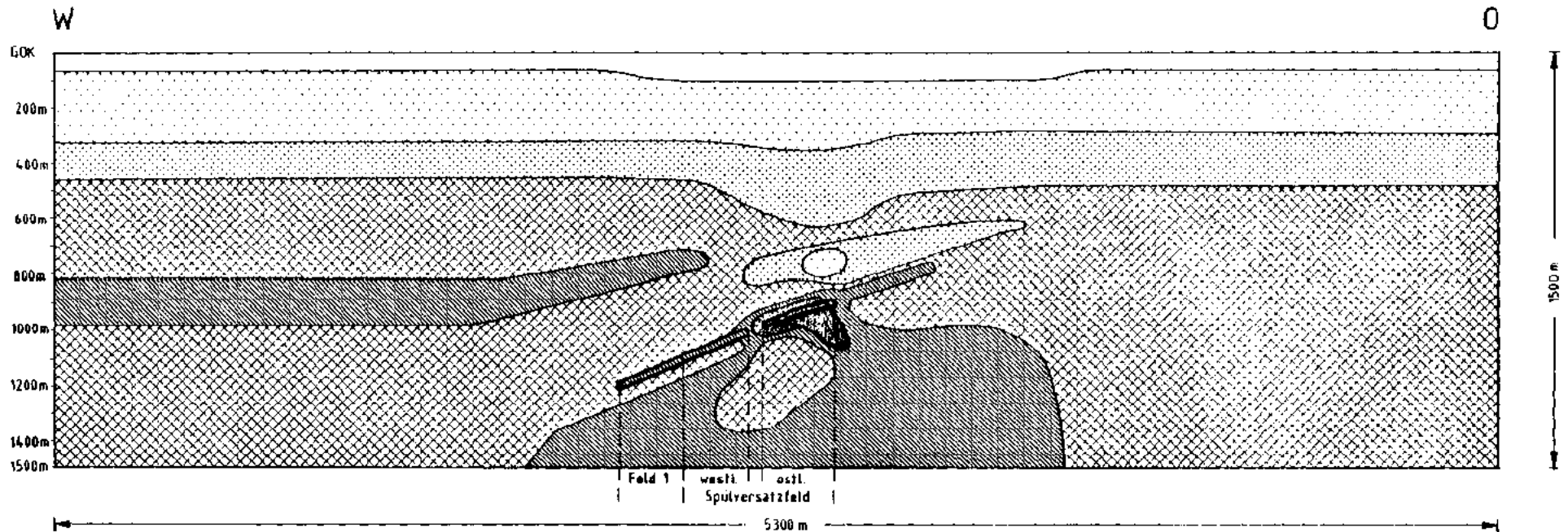


Abb. 4.3.2 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 83 250- (Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)

BGR Hannover  
 1986

Ref. 2.11/2.14

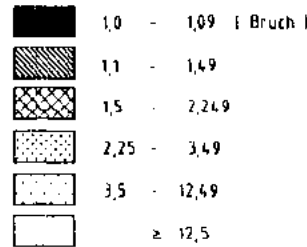
Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 4/5a

$$\eta = \frac{\text{zul. } \sqrt{T_1}}{\text{vorh. } \sqrt{T_1}}$$

mit  $\text{zul. } \sqrt{T_1} = \alpha \cdot I_1 \cdot K$  mit  $I_1 = 3 \cdot \sigma_m$

$$\text{vorh. } \sqrt{T_1} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2]}$$

Verteilung der  $\eta$ -Werte



Stoffgesetz:  
elast./plast. mit  
Fließbedingung nach  
Drucker/Prager

	Stoffparameter		Errichtung des bestehenden Grubengebäudes u. d. gepl. Einlagerungsfelder 4/5a	
	$\nu$	$E$ [MPa]	$\phi$ [Grad]	$c$ [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	23	15
Schicht 2	0,40	2500	20	20
Schicht 3	0,37	2000	25	15
Schicht 4	0,37	3000	13	30
Schicht 5	0,37	3000	15	30
Schicht 6	0,37	3000	10	41
Bereich a	0,25	2000	30	11
Bereich b	0,20	2000	16	30
Bereich c	0,10	2500	30	30
Bereich westl. Spülversatzfeld	0,30	1070	25	30
Bereich östl. Spülversatzfeld	0,20	450	25	30
Bereich Feld 4/5a	0,30	2400/2000	15	10
Bereich Feld 1	0,30	2400	15	10

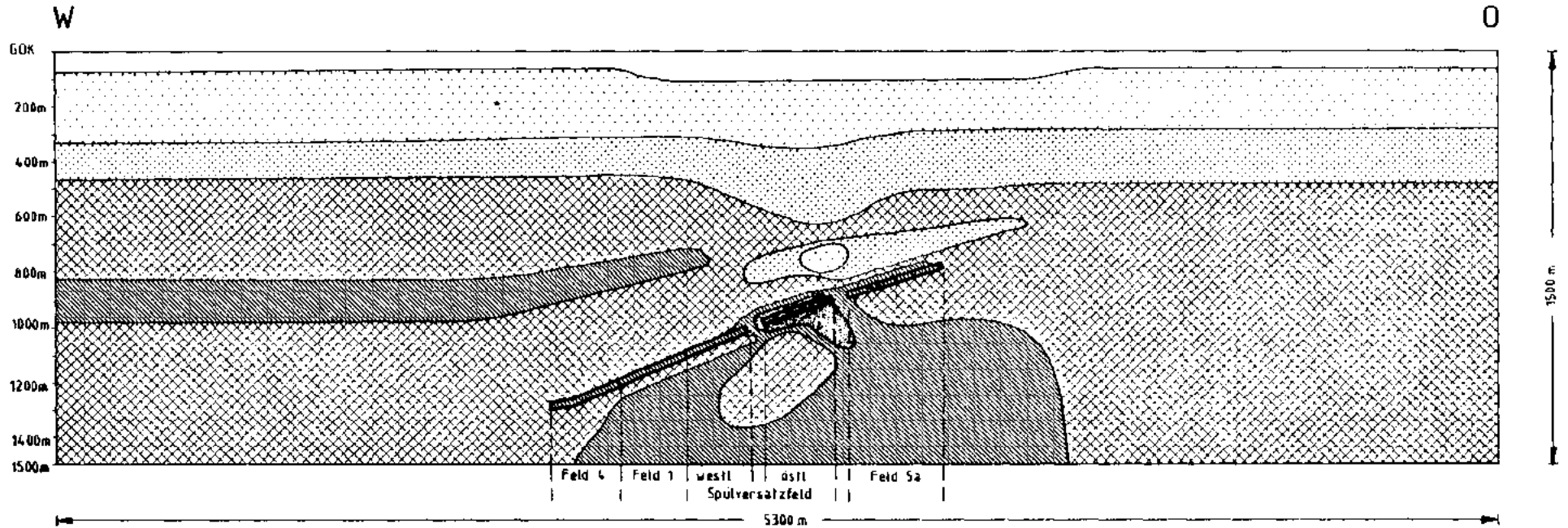


Abb. 4.3.3 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 83 250- (Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 4 und 5a)

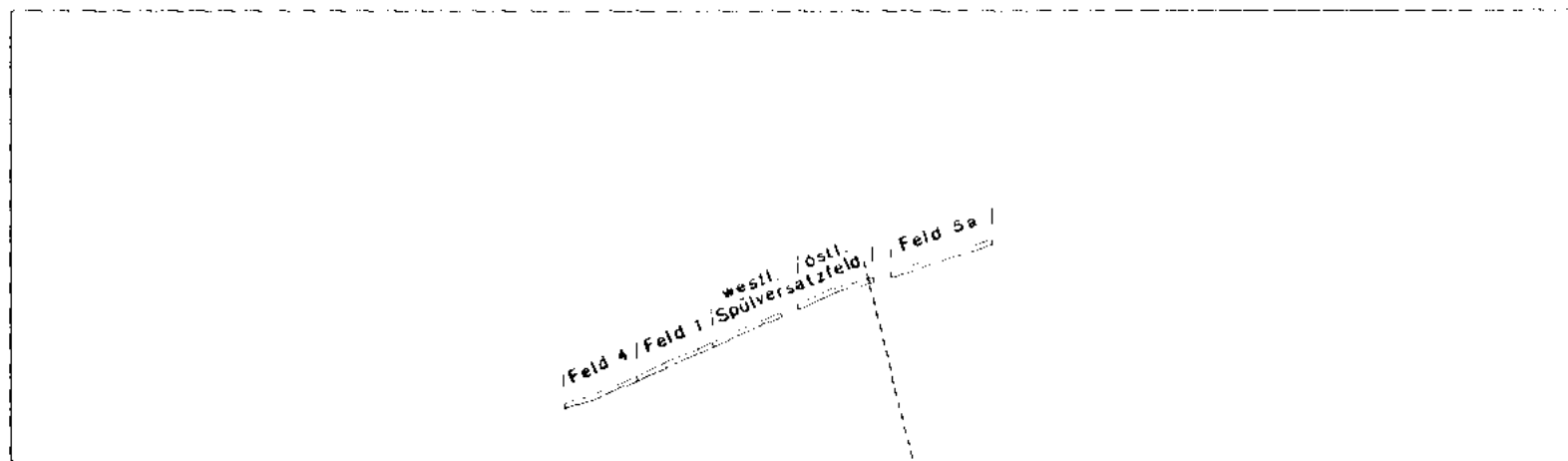
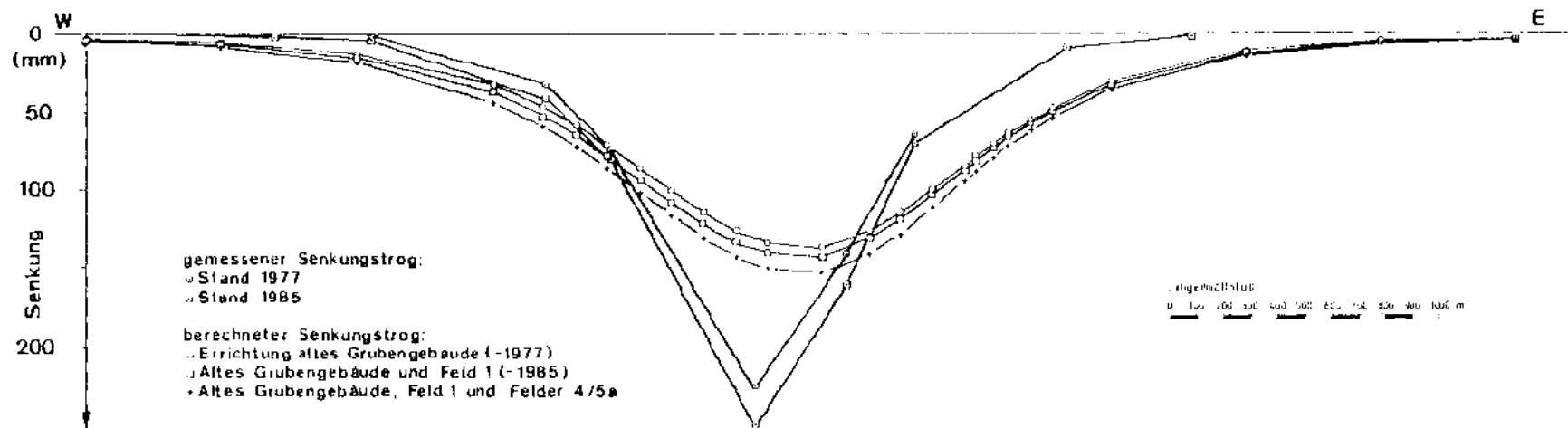








Abb. 4.3.4 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog  
 im Ost-West-Schnitt (H 83 250)

Primärzustand

Verteilung der  $\eta$ -Werte

$$\eta = \frac{\text{zul } \sqrt{I_1}}{\text{vorh } \sqrt{I_1}}$$

mit  $\text{zul } \sqrt{I_1} = \alpha \cdot I_1 - K$  mit  $I_1 = 3 \cdot \sigma_m$   
 $\text{vorh } \sqrt{I_1} = \sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$

-  1,0 - 1,09 (Bruch)
-  1,1 - 1,49
-  1,5 - 2,249
-  2,25 - 3,49
-  3,5 - 12,49
-   $\geq 12,5$

Stoffgesetz:  
 elast./plast. mit  
 Fließbedingung nach  
 Drucker/Prager

Stoffparameter des Primärzustandes

	Elastische Kennwerte		Bruchparameter	
	$\nu$	$E$ [MPa]	$\varphi$ [Grad]	$c$ [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	23	15
Schicht 2	0,37	2500	20	20
Schicht 3	0,37	2000	26	15
Schicht 4	0,37	2500	26	25
Schicht 5	0,35	2500	33	30
Schicht 6	0,37	2500	25	30
Schicht 7	0,37	1000	30	15
Bereich a	0,25	2000	35	30
Bereich b	0,25	2000	30	15
Bereich c	0,30	2500	25	30

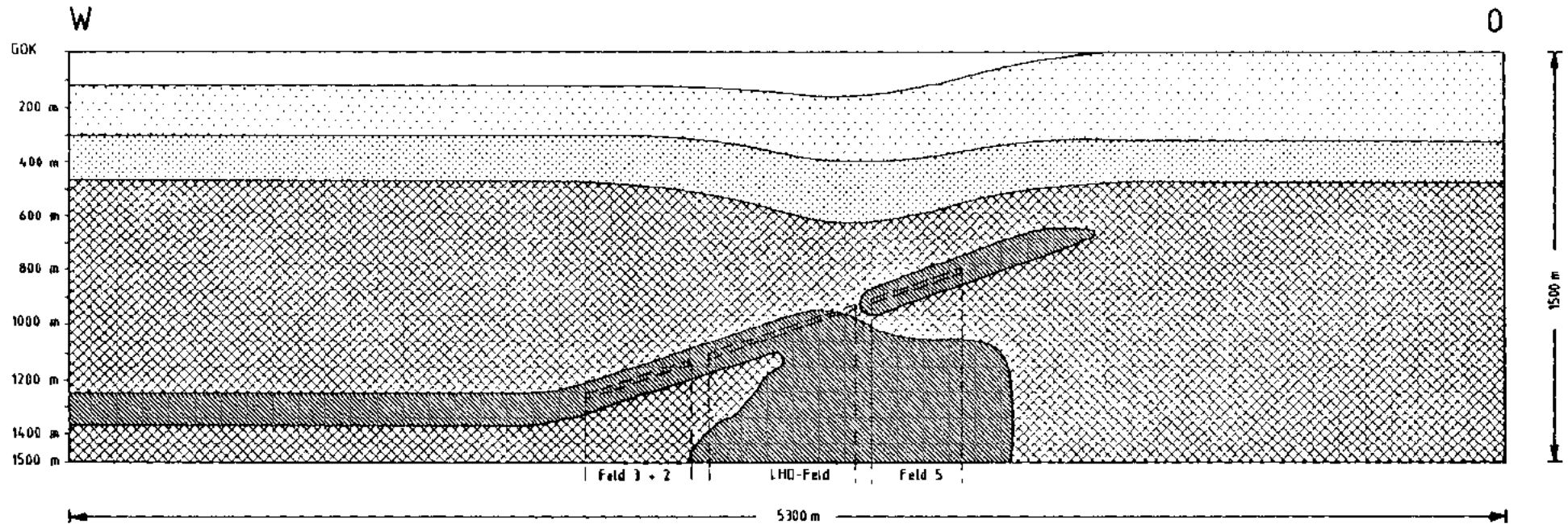


Abb. 4.4.1 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 82 350- (Primärzustand)

BGR Hannover  
 1986

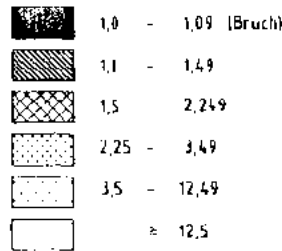
Ref. 2.11/2.14

Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes

$$\eta = \frac{\text{zul}\sqrt{I_1}}{\text{vorh}\sqrt{I_1}}$$

mit  $\text{zul}\sqrt{I_1} = \alpha \cdot I_1 - K$  mit  $I_1 = 3 \cdot \sigma_1$   
 $\text{vorh}\sqrt{I_1} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$

Verteilung der  $\eta$ -Werte



Stoffgesetz:  
 elast./plast. mit  
 Fließbedingung nach  
 Drucker/Prager

	Stoffparameter		Errichtung bestehenden Grubengebäudes	
	$\nu$	$E$ [MPa]	$\phi$ [Grad]	$c$ [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	23	3,5
Schicht 2	0,37	2500	20	2,0
Schicht 3	0,37	2000	25	1,5
Schicht 4	0,37	2300	24	2,5
Schicht 5	0,35	2500	24	3,4
Schicht 6	0,37	2500	25	3,0
Schicht 7	0,37	2300	20	1,1
Bereich a	0,40	1500	25	1,0
Bereich b	0,35	2000	22	1,1
Bereich c	0,35	2100	25	3,0
LHD-Feld	0,40	1100	25	3,0
LHD-Feld im Bereich a	0,35	1050	23	3,0

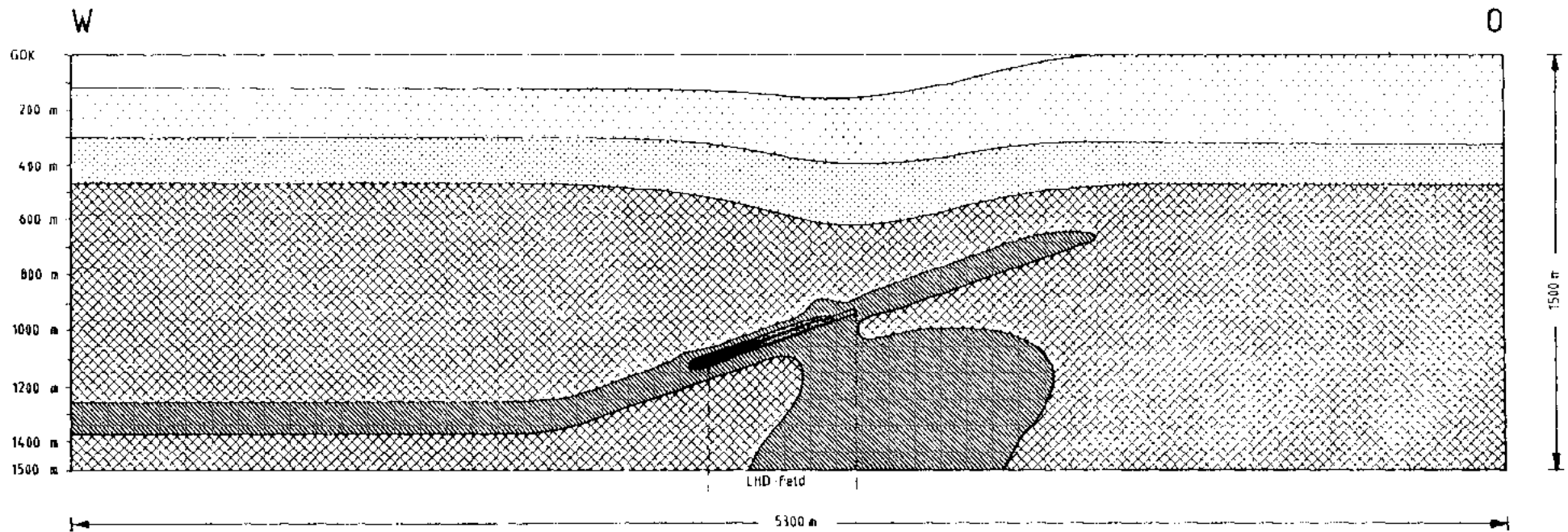


Abb. 4.4.2 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 82 350- (Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes)

BGR Hannover  
 1986

Ref. 2.11/2.14

Zustand: Errichtung des bestehenden Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 2, 3 und 5







Verteilung der  $\eta$ -Werte

$$\eta = \frac{\text{zul } \sqrt{I_1}}{\text{vorh } \sqrt{I_1}}$$

mit

$$\text{zul } \sqrt{I_1} = \alpha \cdot I_1 - K \quad \text{mit } I_1 = 3 \cdot \sigma_m$$

$$\text{vorh } \sqrt{I_1} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2]}$$

-  1,0 - 1,09 (Bruch)
-  1,1 - 1,49
-  1,5 - 2,249
-  2,25 - 3,49
-  3,5 - 12,49
-   $\geq 12,5$

Stoffgesetz:  
elast / plast. mit  
Fließbedingung nach  
Drucker/Prager

Stoffparameter Errichtung des bestehenden Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 2,3,5

	Elastische Kennwerte		Bruchparameter	
	$\nu$	$E$ [MPa]	$\varphi$ [Grad]	$c$ [MPa]
Schicht 1	0,40	3000	23	2,5
Schicht 2	0,37	2500	24	2,0
Schicht 3	0,37	2000	25	1,5
Schicht 4	0,37	2500	23	2,5
Schicht 5	0,35	2500	23	2,8
Schicht 6	0,37	2500	33	3,4
Schicht 7	0,37	3000	20	1,1
Bereich a	0,20	1500	35	1,4
Bereich b	0,25	2000	38	1,1
Bereich c	0,25	2000	35	1,0
Urd-Feld	0,20	1750	35	1,9
Urd-Feld im Bereich a & b	0,15	1050	35	2,0
Bereich Feld 2 & 5	0,30	2000	35	1,4

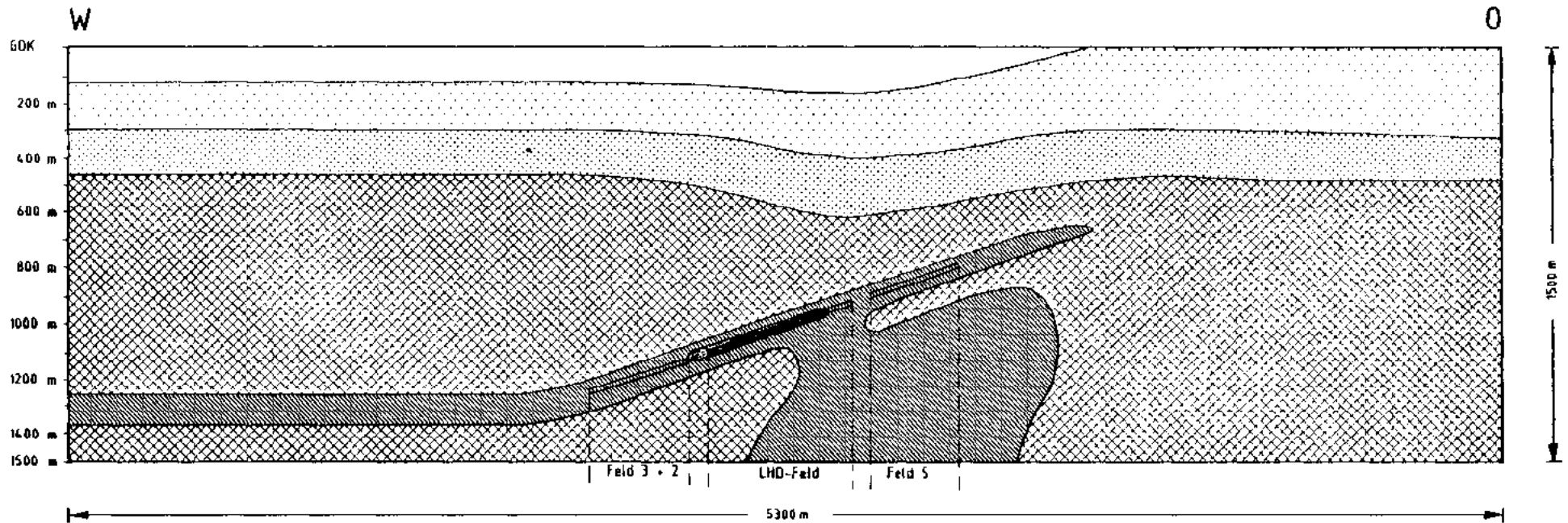
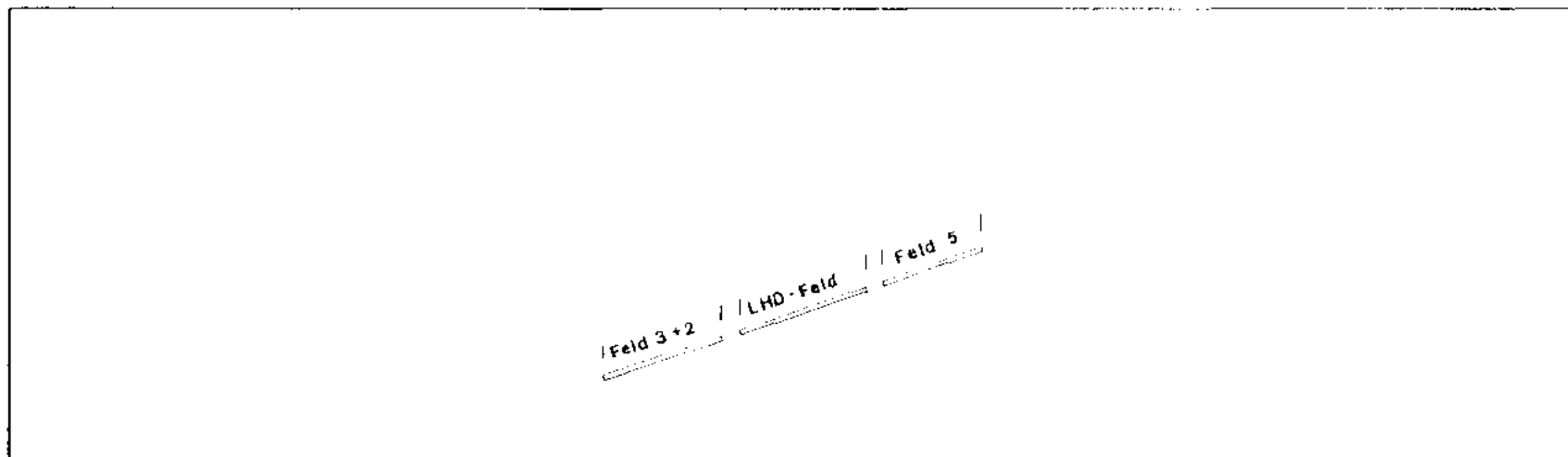
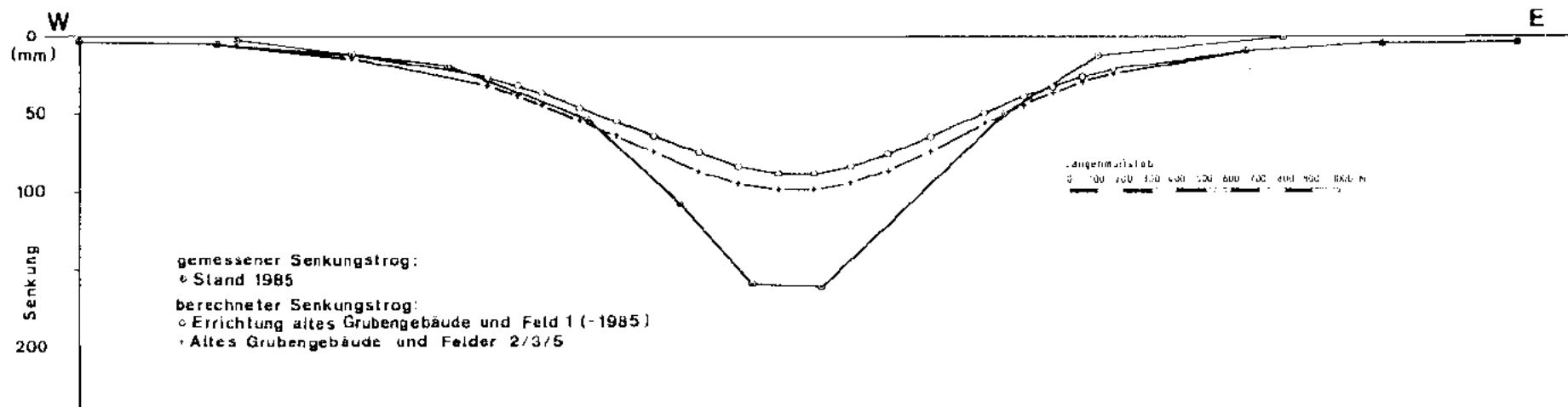


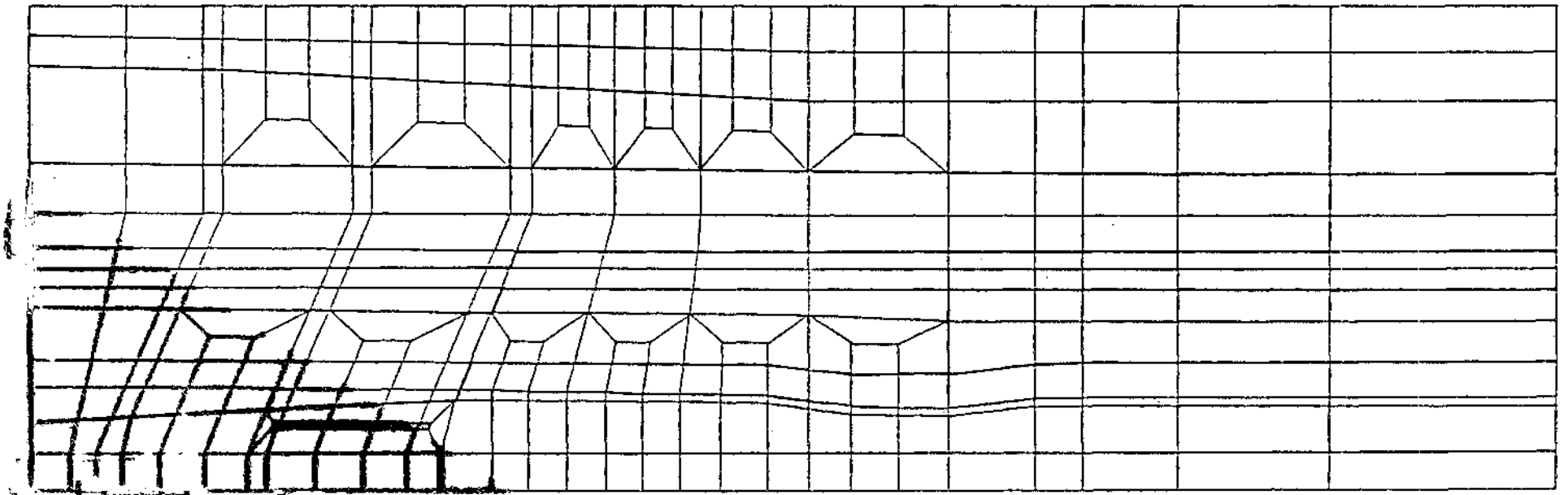
Abb. 4.4.3 Verteilung der Beanspruchung im Ost-West-Schnitt -H 82 350- (Zustand: Errichtung des Grubengebäudes und der geplanten Einlagerungsfelder 3, 2 und 5)



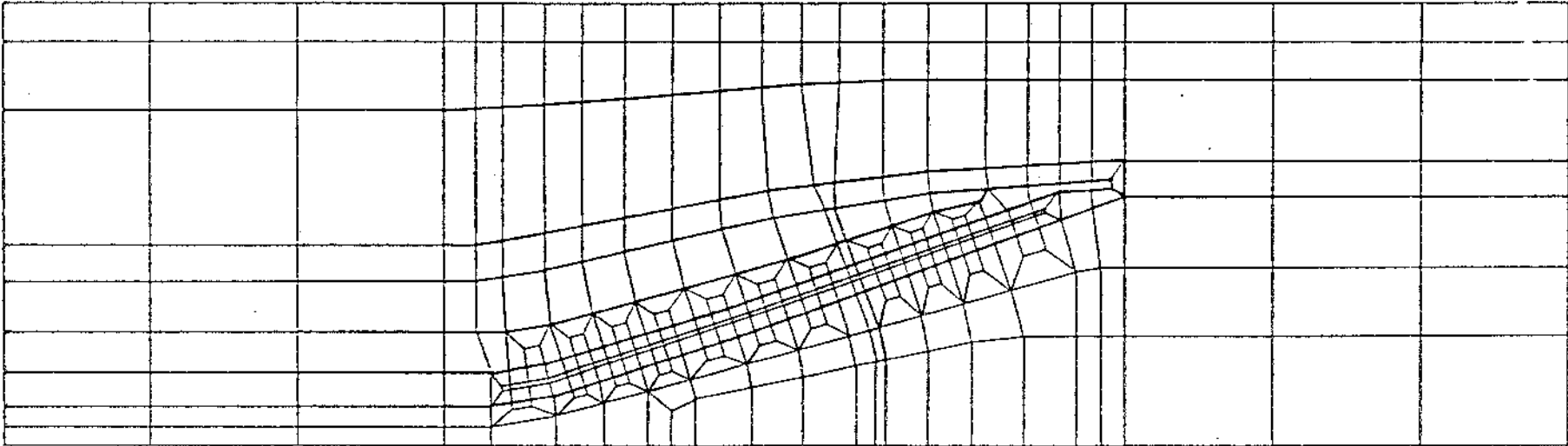
**Abb. 4.4.4 Vergleich gemessener und berechneter Senkungstrog  
im Ost-West-Schnitt (H 82 350)**



Anlage zum N-S-Schnitt - R 96 000 --  
mit Angabe der Schichtgrenzen



Anlage zum O-W-Schnitt - H 82 350 -  
mit Angabe der Schichtgrenzen



Anlage zum O-W-Schnitt - M 83 250 -  
mit Angabe der Schichtgrenzen

